

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) y porcentaje de parasitismo, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica.

Minor Solano-Gutiérrez

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA.

2019

Parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) y porcentaje de parasitismo, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica.

Minor Solano-Gutiérrez

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA.

ESCUELA DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

2019

ii

Parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) y porcentaje de parasitismo, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica.

Minor Solano-Gutiérrez

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO
CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA.




Paul Hanson. PhD.

DIRECTOR DE TESIS



César Guillén Sánchez. M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL




Julio Arias Reverón. PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



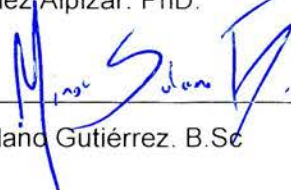
Manuel Solís Vargas. PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Luis Gómez Alpizar. PhD.

DIRECTOR DE ESCUELA



Minor Solano Gutiérrez. B.Sc.

SUSTENTANTE

2019

DEDICATORIA

Para mi padre
Vicente Solano Mora.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por siempre estar ahí apoyándome en cada meta cumplida.

Al Dr. Paul Hanson, M.Sc César Guillén y Dr. Julio Arias, por sus consejos, guía y apoyo brindado durante esta investigación.

Al coordinador del departamento de fisiología, clima, producción y entomología Ing. Miguel Gonzalez y al Dr. Jorge Sandoval, director de investigaciones CORBANA La Rita por el apoyo brindado.

A los colaboradores de la sección de entomología de CORBANA, Sres. Marcos Rojas, Julio Rodriguez y Pedro Ávila, por su ayuda y colaboración durante esta investigación.

A cada una de las personas en el Centro de Investigaciones de CORBANA y de la Universidad de Costa Rica, que de una u otra forma me apoyaron, motivaron y ayudaron para que esta investigación pudiese ser posible.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xviii
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo general.	4
1.2. Objetivos específicos.	4
2. Antecedentes.	5
3. Materiales y métodos.....	10
3.1. Lugar de trabajo, origen de la escama y de los parasitoides.	10
3.2. Determinación del porcentaje de parasitismo.	16
3.3. Identificación de insectos parasitoides y determinación de la proporción de sexos.	20
3.4. Identificación de <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae).	21
4. Resultados.	22
4.1. Condiciones climáticas durante el 2018 de las zonas evaluadas.....	22
4.2. Identificación de la escama <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae) y clave para la identificación de familias y géneros de sus parasitoides e hiperparasitoides.	24

4.3. Porcentaje de parasitismo ejercido por los parasitoides asociados a <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae) y proporción de sexos.....	35
5. Discusión.....	47
6. Conclusiones.....	53
7. Recomendaciones.....	55
9. Literatura citada.....	57
10. Anexos.....	67

Resumen.

La escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) es actualmente una de las principales plagas insectiles en el cultivo del banano en Costa Rica, sin embargo, se conoce poco sobre los agentes de control biológico nativos de esta plaga. Por lo que, con el objetivo de identificar las diferentes especies de avispas parasitoides nativas de esta plaga y determinar el porcentaje de parasitismo natural, se muestreó de abril a agosto (periodo que incluye altas y bajas temperaturas) del 2018, en siete sitios de muestreo con condiciones distintas de manejo, distribuidos en tres diferentes microclimas, en la vertiente Caribe de Costa Rica. Para esto, veinte pseudopeciolos de banano (*Musa* AAA, Cavendish) se colectaron en intervalos mensuales para cada sitio. Cada fragmento de pseudopecíolo (55 cm²) fue incubado en frascos bien ventilados bajo condiciones controladas y monitoreado diariamente para la recuperación de las avispas parasitoides, identificación y determinación del porcentaje de parasitismo y proporción sexual. Tres especies de avispas parasitoides fueron identificadas, *Coccobius* sp., *Aphytis* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) y *Plagiomerus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae) y un hiperparasitoide del género *Ablerus* (Hymenoptera: Aphelinidae). Una clave taxonómica de familias y géneros de parasitoides e hiperparasitoides de *D. boisduvalii* asociada

al cultivo del banano (*Musa AAA*) en Costa Rica fue construída. Los especímenes del género *Coccobius* y *Plagiomerus* encontrados son nuevas especies, aún no descritas, ya que no coincidieron con alguna especie conocida y todas son nuevos reportes parasitando *D. boisduvalii*. Porcentajes de parasitismo totales de hasta un 41% fueron documentados y proporciones sexuales de 1, 13, 21 y 52 % de machos fueron encontrados para *Plagiomerus* sp., *Coccobius* sp., *Aphytis* sp. y *Ablerus* sp., respectivamente. Estos resultados demuestran gran diversidad de avispas parasitoides con alto potencial para el uso como controladores biológicos, por ser nativos y adaptados a nuestras condiciones.

Abstract.

The Boisduval scale (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) is currently one of the main insect pests in the banana plantations of Costa Rica, but little is known about native biological control agents of this pest. Therefore, in order to identify the different species of native parasitoids and determine the percentage of natural parasitism, seven sites were sampled from April to August of 2018 (a period that includes high and low temperatures). The seven sampling sites varied with respect to agricultural management and encompassed three climate zones, but all were on the Caribbean side of the country. Twenty pseudopetioles of banana (*Musa* AAA, Cavendish) infested with scale insects were collected at monthly intervals at each site. Each fragment of pseudopetiole (55 cm²) was stored in a well-ventilated glass tube and monitored daily for parasitoid emergence, identification, and determination of percent parasitism and sex ratio. Three species of parasitic wasps were identified, *Coccobius* sp., *Aphytis* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Plagiomerus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae), and one hyperparasitoid of the genus *Ablerus* (Hymenoptera: Aphelinidae). A taxonomic key to the families and genera of parasitoids and hyperparasitoids of *D. boisduvalii* associated with banana plantations in Costa Rica was prepared. The species of *Coccobius* and *Plagiomerus* that were found are new and still

undescribed, and all are new reports of parasitization of *D. boisduvalii*. Total percent parasitism of up to 41% was documented and sex ratios of 1, 13, 21 and 52% males were found for *Plagiomerus* sp., *Coccobius* sp., *Aphytis* sp. and *Ablerus* sp., respectively. These results show a diversity of parasitoids with high potential for use as biological control agents since they are native and adapted to local conditions.

Lista de cuadros

Cuadro	Título	Página
1	Principales características de las zonas climáticas de la vertiente Caribe según Amador et al., 2013, seleccionadas para el muestreo de la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i> : Hemiptera: Diaspididae) en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish).	12
2	Manejo de arvenses y momento, método de aplicación e ingrediente activo (IA) de nematocidas utilizados en cada sitio muestreado.	13
3	Identificación molecular de <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae), gen amplificado y porcentaje de identidad con secuencias reportadas previamente.	24
4	Media (\pm EE) y rango, del número de pupas por hembra de los diferentes parasitoides asociados a la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i> : Hemiptera: Diaspididae).	32

Lista de figuras

Figura	Título	Página
1	Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Hargreaves. Donde los números indican los sitios de muestreo de la es-	11

cama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae), llevados a cabo entre los meses de abril y agosto del 2018. (Modificado de Amador et al., 2013).

2	Diferentes tipos de manejo de arvenses presentes en los sitios de muestreo. A- Manejo químico. B- Cobertura vegetal. C- Rodaja química.	14
3	Datos de temperatura promedio desde el año 2012 y precipitación desde el 2005, en la vertiente Caribe de Costa Rica. (Fuente: BANACLIMA-CORBANA).	15
4	Porción del pseudopeciolo de la última hoja de la planta de banano utilizado en la recolección de muestras de escamas.	16
5	Frascos plásticos utilizados para la incubación de muestras de pseudopeciolos con escamas recolectadas del campo.	17
6	Ilustración de metodología empleada en la obtención de los insectos. A- Se muestreó la parte aérea de la planta donde se encuentran los peciolos. B- Se seleccionan peciolos de la última hoja infectados. C- Los peciolos se extrajeron y se pusieron a incubar en frascos. D- Los insectos emergidos se recuperaron utilizando un aspirador. E- Se depositaron en viales con alcohol al 70%. F- Se observaron al estereoscopio. G- Respectiva identificación y sexado.	19

7	Precipitación y temperatura máxima, mínima y promedio mensual, durante el año 2018 en A- zona climática G7a (estaciones meteorológicas Islas Sarapiquí, Las Valquirias, Penjamo); B- zona climática F3 (estaciones meteorológicas 28 millas, Bananera Siquirres, Cartagena, Finca Chirripó y Limofrut B); C- zona climática E6 y F6 (estaciones meteorológicas País y Agrotubérculos).	23
8	Fig. 8.1. Encyrtidae (las flechas indican las axilas casi tocándose, cercos y la vena marginal corta). Figs. 8.2-8.5. Aphelinidae. Fig. 8.2. Mostrando vena marginal larga y línea calva; Fig. 8.3. Mostrando base de metasoma ancha (sin constricción evidente, las flechas indican las axilas no tocándose al medio y cercos). Figs. 8.4-8.5. Antena hembra. Fig. 8.4. <i>Ablerus</i> sp. (Aphelinidae) Fig. 8.5. <i>Coccobius</i> sp. (Aphelinidae)	27
9	<i>Plagiomerus</i> sp (Encyrtidae). asociado a la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i> : Hemiptera: Diaspididae). A- Vista dorsal hembra. B- Antena hembra. C- Antena macho	28
10	<i>Coccobius</i> sp. (Aphelinidae) asociado a la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i> : Hemiptera: Diaspididae). A- Vista lateral hembra. B- Antena macho. C- Antena hembra.	29
11	Vista dorsal de una hembra de <i>Aphytis</i> sp. (Aphelinidae) asociado a la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i> : Hemiptera: Diaspididae).	30

12	<p>Hoyo realizado en la emergencia por los diferentes parasitoides asociados a la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i>: Hemiptera: Diaspididae). A- <i>Plagiomerus</i> sp. (Encyrtidae) B- <i>Coccobius</i> sp. (Aphelinidae) C- <i>Aphytis</i> sp. (Aphelinidae).</p>	31
13	<p>Pupas de los diferentes parasitoides de la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i>: Hemiptera: Diaspididae). A- <i>Aphytis</i> sp. (Aphelinidae) B- <i>Plagiomerus</i> sp. (Encyrtidae) C- <i>Coccobius</i> sp. (Aphelinidae)</p>	33
14	<p>Especímenes de <i>Ablerus</i> sp. (Aphelinidae) asociado a la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i>: Hemiptera: Diaspididae). A- Vista lateral hembra. B- Vista lateral macho.</p>	34
15	<p>Frecuencia de aparición de <i>Ablerus</i> sp. (Aphelinidae) respecto a la aparición de avispas del género <i>Coccobius</i>, <i>Plagiomerus</i>, <i>Aphytis</i> y la combinación de estas, asociadas a la escama de boisduval (<i>Diaspis boisduvalii</i>: Hemiptera: Diaspididae).</p>	35
16	<p>Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 1, zona climática G7a, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica.</p>	36

- 17 Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 2, zona climática G7a, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Ccaribe de Costa Rica. 38
- 18 Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 3, zona climática G7a, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica. 39
- 19 Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 4, zona climática F3, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica. 41
- 20 Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 5, zona climática F3, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica. 42

21	Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 6, zona climática F3, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica.	44
22	Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 7, zona climática E6, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica.	45
23	Porcentaje de machos de cada especie de parasitoides e hiperparasitoide de la escama <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae) en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica. Donde n= número de especímenes analizados.	46

Lista de anexos

Anexo	Título	Página
1	Coordenadas geográficas de los sitios muestreados, durante los meses de abril a agosto del 2018, en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica.	67

2	Coordenadas geográficas estaciones meteorológicas Islas Sarapiquí, Pénjamo, Las Valquirias, Cartagena, Bananera Siquirres, 28 millas, Finca Chirripó, Limofrut, Agrotubérculos y País	67
3	Fechas de cada sitio muestreado y zona climática, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica.	68
4	Temperatura y humedad mensual del cuarto de incubación de muestras, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018.	69
5	Hembra de <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae) adulta (tercera exuvia ninfal presente) en banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish). Números indican las tres exuvias ninfales.	70
6	Frutas de banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish) infestadas con <i>Diaspis boisduvalii</i> (Hemiptera: Diaspididae).	70

1. Introducción

El cultivo del banano (*Musa AAA*) es indispensable para la seguridad alimentaria y la economía de un gran grupo de países de Asia, África, Oceanía, América Latina y el Caribe (Soto 2014). Costa Rica, junto a Colombia y Ecuador, es uno de los tres principales exportadores de banano en la región, donde Costa Rica en el 2015 alcanzó 43,024 hectáreas en producción (FAO 2017). Exportándose en el 2017 2.517.773 toneladas, alcanzando un valor de 1.040 millones de dólares, donde el 42 % de las exportaciones fueron hacia Norte América, el 38 % hacia Europa y el 20 % hacia otros países (PROCOMER 2018).

Esta actividad se ha visto afectada en los últimos 10 años por la escama *Diaspis boisduvalii* Signoret, 1869 (Hemiptera: Diaspididae), un insecto chupador cubierto de una capa de proteínas (exuvias ninfales), que se puede encontrar en el pseudotallo, raíces, hojas, vainas y frutos del banano, el cual, a diferencia de otros chupadores, no se alimenta del floema o xilema, sino de células de parénquima, condiciones que implican un manejo químico complejo (Beardsley y Gonzalez 1975, Guillén y Laprade 2016, Antonelli 2003).

Sin embargo, su principal problema es que se encuentra en condición de cuarentena en todos los puertos de destino y que en los últimos tiempos ha

estado incurriendo en costos elevados de manejo, convirtiéndose en una limitante en el ingreso a los principales mercados, tales como Estados Unidos y Europa, provocando pérdidas económicas y costos de manejo que superan en muchos casos los \$1000/ha/año (Guillén y Laprade 2016, Guillén 2019¹).

Esta escama es considerada una de las 43 plagas más serias en el mundo en su tipo (Miller y Davidson 2005), recomendándose un manejo integrado de plagas para su efectivo control. En el mundo, se ha informado sobre el parasitoide *Coccidencyrtus malloi* Blanchard, 1964 (Hymenoptera: Encyrtidae) asociado a *D. boisdusvalii* (Panis y Pinet 1999). En Costa Rica se ha informado sobre la presencia de enemigos naturales en plantaciones de banano, como avispas del género *Coccobius*, escarabajos depredadores *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, 1853 (Coleoptera: Coccinellidae), *Pentilia* spp y *Delphastus* spp y las crisopas *Ceraeochrysa* spp (Guillén et al. 2010, Guillén y Laprade 2016).

A pesar de encontrarse una alta diversidad de enemigos naturales, el control biológico de esta plaga en Costa Rica se encuentra en una etapa incipiente, a

¹Guillén. C. 4 abr. 2019. La escama en cultivos de banano en Costa Rica (mesa redonda). La Rita, Guápiles. Costa Rica. CORBANA.

pesar de que, en el mundo se reporta que cerca del 66 % de los éxitos totales del uso de control biológico, se han obtenido contra insectos hemípteros que están cubiertos por una capa cerosa o proteica y no son controlados fácilmente por insecticidas (Dhaliwal y Arora 2001, Koul y Dhaliwal 2003).

Las avispas parasitoides de la superfamilia Chalcidoidea, han sido exitosas en el uso de control biológico de varias especies de escamas plaga (Guerrieri y Noyes 2000, Japoshvili et al. 2013). Sin embargo, no se conoce con certeza la diversidad real de avispas parasitoides asociadas a *D. boisduvalii* en los cultivos de banano de la vertiente Caribe de Costa Rica.

Conocer la diversidad de parasitoides y el parasitismo, es de suma importancia para la toma de decisiones durante el manejo integrado de plagas (Heraty 2009, Dhaliwal y Arora 2001). Además, el adecuado aprovechamiento del potencial de estos enemigos naturales abre la posibilidad a futuras investigaciones relacionadas. Por lo que este trabajo consistió en identificar los insectos parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) y determinar el porcentaje de parasitismo ejercido por estos, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la Vertiente del Caribe de Costa Rica.

1.1. Objetivo general.

- Identificar los insectos parasitoides y estimar sus tasas de parasitismo natural sobre la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) en plantaciones de banano (*Musa AAA*) de la vertiente Caribe de Costa Rica, para la documentación del potencial uso como agentes de control biológico natural de esta plaga.

1.2. Objetivos específicos.

- Identificar los parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae), para el conocimiento de la diversidad de este tipo enemigos naturales en plantaciones de banano (*Musa AAA*) de la vertiente Caribe de Costa Rica.
- Estimar el porcentaje de parasitismo natural ejercido por los parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) y la proporción sexual de cada una, para la documentación del efecto ejercido sobre la población del hospedador en plantaciones de banano (*Musa AAA*) de la vertiente Caribe de Costa Rica.

2. Antecedentes.

La actividad bananera nacional se ha visto afectada en los últimos años por la presencia de la escama de boisduval (*D. boisduvalii*), el cual pertenece al orden Hemíptera, familia Diaspididae y tribu Diaspidini. Las hembras de este insecto se encuentran cubiertas por sus exuvias ninfales proteícas, que les brinda protección. Son ovíparas o pseudovivíparas; los huevos están protegidos debajo de la escama y presentan un único estadio inmaduro móvil llamado “crawler” o caminador. Son insectos chupadores con dos estiletes, uno mandibular y otro maxilar y a diferencia de otros Hemípteros, se alimenta del parénquima. Esto dificulta el uso de insecticidas de contacto o ingestión no sistémicos en su control (Beardsley y Gonzalez 1975, Antonelli 2003).

La reproducción de estos insectos escama es sexual, pudiendo generarse machos alados (Beardsley y Gonzalez (1975). El desarrollo desde huevo hasta alcanzar la madures sexual es en promedio de 33 días para machos y de 50 días para hembras. Cada hembra puede llegar a producir hasta 200 huevos y puede llegar a vivir hasta siete meses. Los huevos eclosionan entre los cinco y los siete días posterior a la puesta. El color del huevo depende de la madurez, y varía de claro a amarillo, y finalmente anaranjado (Miller y Davidson 2005).

Los sitios de alimentación de escamas armadas, como la de boisduval, a menudo están asociados con decoloraciones por su modo de alimentación, y otras distorsiones de los tejidos del huésped, como la deformación de las hojas. Además, defoliación, muerte regresiva de las yemas terminales y a veces la muerte eventual del huésped puede seguir de una infestación fuerte (Beardsley y Gonzalez 1975).

Esta es una plaga importante en el cultivo del banano y se puede encontrar en el pseudotallo, las hojas, vainas y frutos del banano, presentando en los dedos del banano una lesión de forma cóncava y clorótica (Guillén et al. 2010, Guillén y Laprade 2016). Para su manejo en Costa Rica, se recomienda un manejo integrado de plagas, realizando un adecuado y oportuno monitoreo e integrando prácticas culturales con combate químico y control biológico (Guillén et al. 2010, Guillén y Laprade 2016).

Para la supresión de la plaga, principalmente se realizan prácticas culturales de manejo que eviten favorecer el establecimiento y dispersión de la plaga como evitar insertar en las manos de banano trozos de hojas infestadas con la plaga. Evitar colgar las fundas entre los peciolos, no distribuir los pinzotes en el campo sin ser tratados previamente con la mezcla de agua y detergente de calidad

industrial o alguna sal potásica y no utilizar material vegetal en el desvío de hijos con presencia de la plaga (Guillén et al. 2010, Guillén y Laprade 2016).

Preventivamente, se utilizan fundas de polietileno impregnadas con los insecticidas buprofezina al 2% en mezcla con bifentrina al 0,1%, fundas impregnadas con bifentrina al 0,1% y fundas impregnadas con clorpirifos al 1%, de acuerdo a semanas del año con mayor incidencia, condiciones climáticas y manejo de las fincas. Además, aplicaciones dirigidas de aceites y el insecticida pyriproxyfen (Guillén et al. 2010, Guillén y Laprade 2016).

En cuanto al control biológico, este se encuentra poco explorado en el manejo de la escama de boisduval, en plantaciones de banano. Esto, a pesar de que según Koul y Dhaliwal (2003), el uso de depredadores y parasitoides debería ser la primera consideración a tomar en cualquier programa de manejo de plagas. Siendo el mejor método de control, bajo el marco de las consideraciones ecológicas y ambientales.

Los enemigos naturales, tanto depredadores, como parasitoides, atacan insectos plaga en varias etapas de su ciclo de vida, resultando en la regulación de la población plaga, contribuyendo a su manejo y reduciendo el uso de insecticidas químicos. Sin embargo, como ha ocurrido a lo largo de la historia, el potencial del control biológico por depredadores y parasitoides ha permanecido

en gran medida sin explotar, porque ha sido subutilizado, subestimado y, por lo tanto, no probado (DeBach and Rosen 1991, Altieri and Nicholls 1998, Hokkanen 1993, Koul y Dhaliwal 2003).

Costa Rica no es la excepción, ya que, a pesar de contar con una alta diversidad de enemigos naturales, el control biológico de la escama de boisduval está en una etapa incipiente. Donde la información acerca de la efectividad de estos insectos en la supresión de poblaciones de la escama de boisduval y su potencial uso en un manejo integrado de esta plaga es muy poca, ya que es hasta el último semestre del 2016 cuando se observó una presión alta de esta plaga en varias de las fincas bananeras ((Guillén et al. 2010, Guillén y Laprade 2016; Guillen 2017²).

Por otra parte, se ha reportado hasta un 40% de parasitismo en algunas fincas de banano de la vertiente Caribe costarricense (Guillén y Laprade 2016) y en otros países se han reportado porcentajes importantes de control ejercido por avispa del grupo Chalcidoidea sobre escamas armadas de la familia Diaprididae. Japoshvili et al. (2010) encontraron en el sureste de Grecia, un

² Guillén. C. 8 ago 2017. La escama en cultivos de banano en Costa Rica.(mesa redonda). La Rita, Guápiles. Costa Rica. CORBANA.

parasitismo por *Plagiomerus diaspidis* Crawford, 1910 (Hymenoptera: Encyrtidae) sobre *Diaspis echinocacti* Bouché, 1833 (Hemiptera: Diaspididae) de 86%. En Florida, Wiese et al (2005) obtuvieron 51% de *Aulacaspis yasumatsui* Takagi, 1977 (Hemiptera: Diaspididae) parasitadas por *Coccobius fulvus* Compere et Annecke 1961 (Hymenoptera: Aphelinidae).

Takagi y Ujiye (1986) reportaron una disminución drástica de la escama *Unaspis yanonensis* Kuwana, 1923 (Hemiptera: Diaspididae) después de la introducción de las dos especies de parasitoides, *Aphytis yanonensis* DeBach & Rosen, 1982 (Hymenoptera: Aphelinidae) y *C. fulvus*, en plantaciones de cítricos en Japón. Itoi et al. (1997) mencionan que el parasitismo ejercido por *C. fulvus*, sobre esa misma escama, aumentó gradualmente, llegando eventualmente al 73.4% y se demostró que *C. fulvus* causó aproximadamente el 70% de la mortalidad a adultos maduros hospedadores y 30% de la mortalidad a estadios de adultos inmaduros, sugiriendo que *C. fulvus* suprimió la población huésped.

Por lo que, identificar los parasitoides de la escama de boisduval y estimar sus tasas de parasitismo natural, en las plantaciones de banano de la vertiente del Caribe de Costa Rica, sería de gran utilidad para el desarrollo de programas de control biológico y el manejo integrado de esta importante plaga en el sector, lo

que es importante en la toma de decisiones para la cría de parasitoides y abriría paso a nuevas investigaciones sobre el potencial de estos enemigos naturales.

3. Materiales y métodos.

3.1. Lugar de trabajo, origen de la escama y de los parasitoides.

La vertiente Caribe costarricense presenta 10 grupos climáticos según Amador et al. (2013) (figura 1), obtenidos según el balance hídrico, donde para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) a partir del procedimiento de Hargreavesn, se considera la temperatura media, mínima y máxima y la radiación solar. Agrupando zonas con altas precipitaciones en el Caribe norte y menores precipitaciones en el Caribe sur, con similar humedad y rangos de temperatura (cuadro 1).

De estos diez grupos, las fincas bananeras se encuentran principalmente en cuatro de ellas, las zonas G7a, F3, E6 y F6, específicamente en las zonas G7a y F3 (figura 1). Teniendo esto en consideración, se eligieron siete sitios de muestreo en fincas con presión de la plaga, distribuidos en tres grupos climáticos, tres en la zona climática G7a, tres en la zona climática F3 y uno en la zona climática E6, pero con alta influencia de la zona F6 también, al sur de la

vertiente Caribe (figura 1). Las condiciones de cada sitio de muestreo y el manejo dependieron de la toma de decisiones propia de cada plantación (cuadro 2 y figura 2). y para efectos de mantener la confidencialidad de los colaboradores, los nombres de las plantaciones no fueron mencionados.

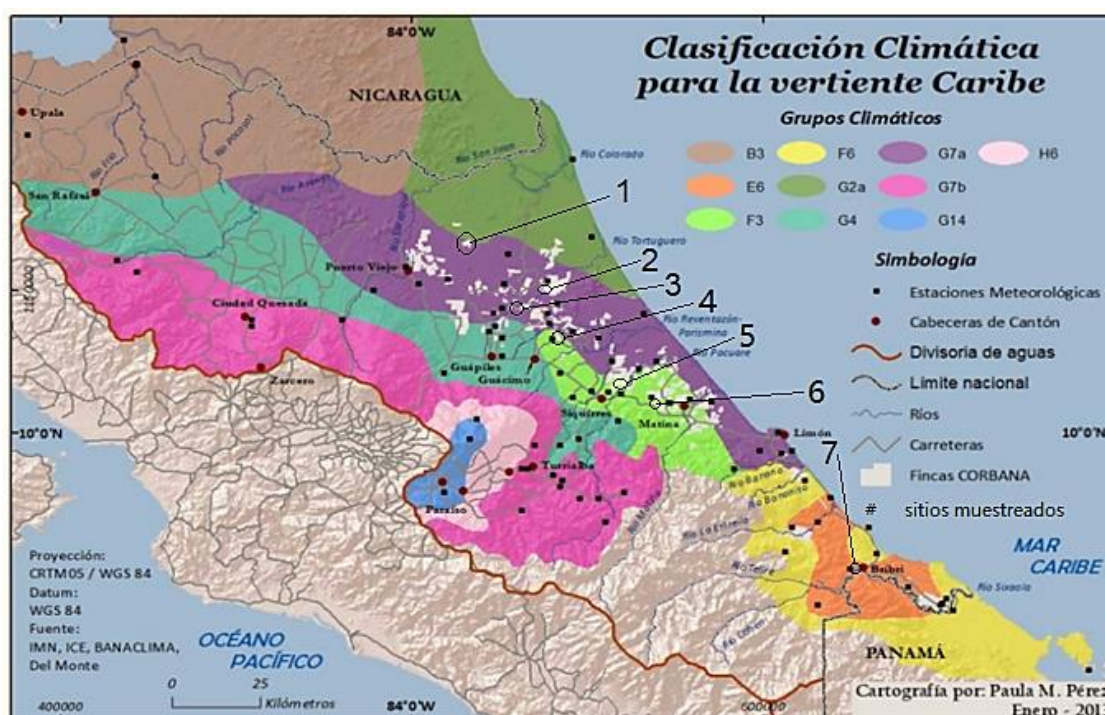


Figura 1. Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Hargreaves. Donde los números indican los sitios de muestreo de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae), llevados a cabo entre los meses de abril y agosto del 2018. (Modificado de Amador et al. 2013).

Cuadro 1. Principales características de las zonas climáticas de la vertiente Caribe según Amador et al. 2013, seleccionadas para el muestreo de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish).

Zona climática	Características
G7a	-Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua -Precipitación media anual (mm) = 2840-4800 -Temperatura media anual= 24 a 26 °C
F3	-Clima húmedo, muy caliente, con déficit pequeño de agua. -Precipitación media anual (mm) = 3080-3420 -Temperatura media anual= 25 a 27 °C
E6	-Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua -Precipitación media anual (mm) = 2500 -3100 -Temperatura media anual= 22 a 26 °C

Cuadro 2. Manejo de arvenses y momento, método de aplicación e ingrediente activo (IA) de nematicidas utilizados en cada sitio muestreado.

Zona climática	Sitio de muestreo	Manejo de arvenses	Manejo de nematodos		
			Momento	Método	IA
G7a	1	Químico	Febrero	Aplicado al suelo frente al hijo	Fenamifos
	2	Químico	Enero/mayo	Aplicado al suelo frente al hijo	Oxamyl / oxamyl
	3	Chapeadora, rodaja químico	Febrero	Aplicado al suelo frente al hijo	Terbufos
F3	4	Chapeadora, rodaja químico / químico	Abril	Aplicado al suelo frente al hijo	Oxamyl
	5	Chapeadora, rodaja químico	Marzo/Junio	Aplicado al suelo frente al hijo	Fluopyram/oxamyl
	6	Chapeadora, rodaja químico	Abril	Aplicado al suelo frente al hijo	Oxamyl
E6	7	Cobertura completa	No aplica	No aplica	No aplica

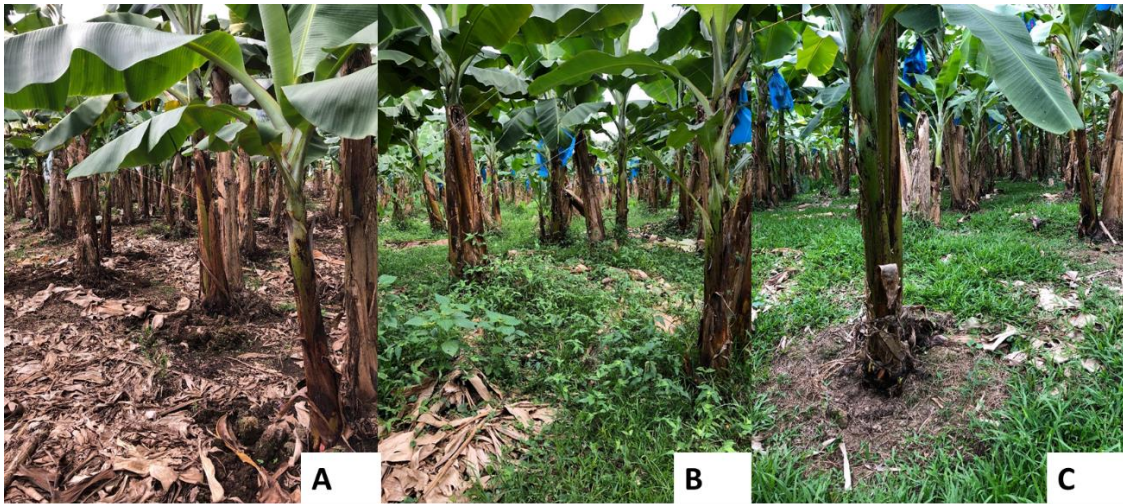


Figura 2. Diferentes tipos de manejo de arvenses presentes en los sitios de muestreo. A- Manejo químico. B- Cobertura vegetal. C- Rodaja química.

Según Amador et al. (2013) y datos históricos de Banaclima-CORBANA (figura 3), existen dos periodos de mayor temperatura en general en la vertiente Caribe, uno inicia aproximadamente en abril y termina en junio y el otro inicia en agosto y termina en octubre. De igual manera con la precipitación, con menores precipitaciones en los meses de abril y septiembre y mayores en el mes de julio. Por lo que el muestreo de campo se realizó de abril a agosto del año 2018, abarcando una época de mayores y otra de menores temperaturas y precipitaciones.

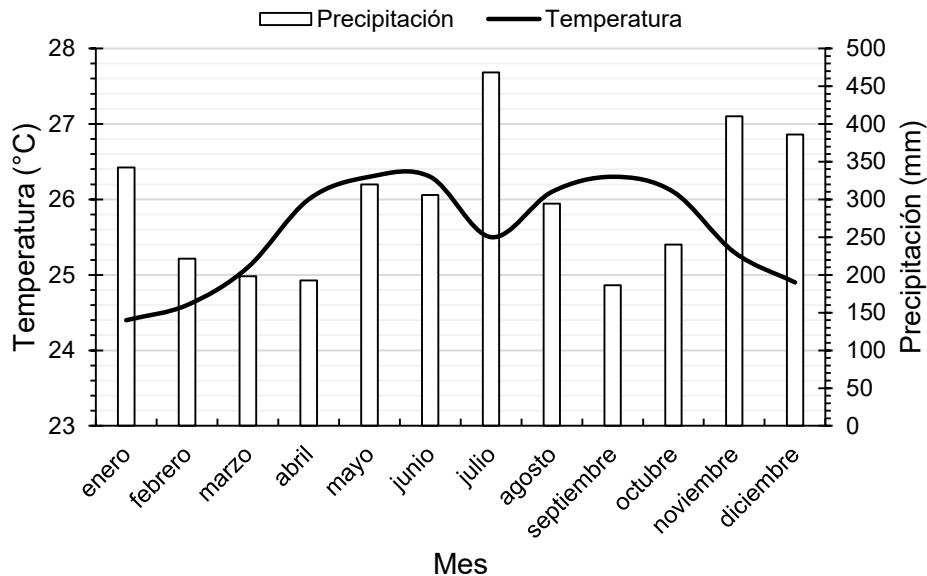


Figura 3. Datos de temperatura promedio mensual desde el año 2012 y precipitación acumulada promedio mensual desde el 2005 en la vertiente Caribe de Costa Rica (Datos proporcionados por BANACLIMA-CORBANA).

El trabajo de cría, seguimiento y obtención de los parasitoides se realizó en el laboratorio de Entomología, ubicado en el Centro de Control Biológico en CORBANA La Rita, Pococí, Limón. Durante el periodo de investigación, las muestras se incubaron controlando la temperatura y humedad ($25 \pm 2 \text{ } ^\circ \text{C}$ y $70 \pm 10 \text{ } \% \text{ HR}$) utilizando un calentador de aire automático y un humidificador marca Air-O-Swiss y monitoreándose mediante un datalogger marca WK modelo WK072.

3.2. Determinación del porcentaje de parasitismo.

Se tomaron de 15 a 20 plantas de edad, tamaño, forma, condiciones de crecimientos aproximadamente similares e infestados con la plaga, fueron elegidas aleatoriamente para el muestreo. El punto de muestreo fue el pseudopeciolo de la última hoja (figura 4) y se recolectaron en intervalos mensuales para cada sitio de muestreo para el cálculo del parasitismo (Abd-Rabou et al. 2014, Abell y Van Driesche 2012).



Figura 4. Porción del pseudopeciolo de la última hoja de la planta de banano utilizado en la recolección de muestras de escamas.

Durante la recolección en campo, los pseudopociolos se colocaron por separado en bolsas de plástico para su posterior procesamiento en el laboratorio. A fragmentos de 11 x 5 cm (55 cm²) de pseudopociolo se les contabilizó el número inicial de hembras de *D. boisduvalii* con la tercera exuvia ninfal presente (anexo 5) y se almacenaron en frascos plásticos de incubación, ventilados en la tapa con mesh de 160 µm de tamaño de poro (figura 5) y se monitoreó diariamente para determinar la emergencia de los insectos parasitoides (Abell y Van Driesche 2012), los cuales fueron recolectados con un aspirador, registrados y colocados en eppendorf con alcohol al 75% (Upton y Mantle 2010), para posterior identificación y determinación de la proporción sexual (figura 6).



Figura 5. Frascos plásticos utilizados para la incubación de muestras de pseudopociolos con escamas recolectadas del campo.

El porcentaje de parasitismo de las diferentes especies parasitoides asociados fue calculado utilizando la ecuación 1, en base al número de insectos parasitoides adultos de cada especie emergidos y el número de escamas hospedadores presente en la muestra inicialmente (Abd-Rabou et al. 2014, Wiese et al. 2005; Bayoumy et al. 2013). A excepción de porcentaje de parasitismo ejercido por *Aphytis* sp., donde se corrigió a una relación 3:1 avispa:hospedador. Debido a que este es un ectoparasitoide gregario con un promedio de tres parasitoides por hembra de la escama de boisduval, por lo que no se cumple el principio básico de la relación 1:1 avispa:hospedador expuesta en la ecuación 1 (ver cuadro 4, resultados).

$$\%parasitismo = \frac{\# \text{ parasitoides adultos de cada especie emergidos}}{\# \text{ } \varnothing \text{ Diaspis boisduvalii inicial}} \times 100 \text{ (ecuación 1)}$$

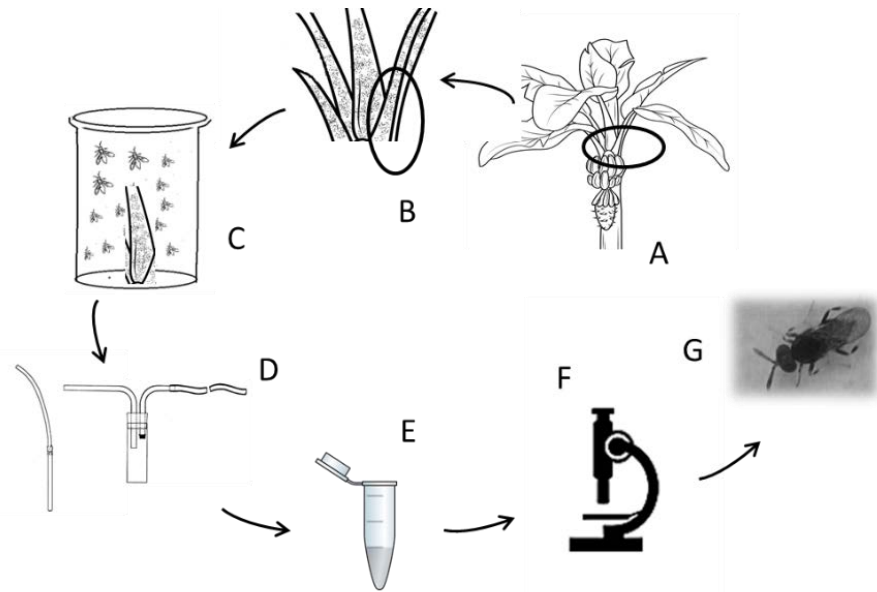


Figura 6. Ilustración de metodología empleada en la obtención de los insectos. A-Se muestró la parte aérea de la planta donde se encuentran los peciolo. B- Se seleccionaron peciolo infectado de la última hoja. C- Los peciolo se extrajeron y se pusieron a incubar en frascos. D- Los insectos emergidos se recuperaron utilizando un aspirador. E- Se depositaron en viales con alcohol al 75%. F- Se observaron al estereoscopio. G- Respectiva identificación y sexado.

3.3. Identificación de insectos parasitoides y determinación de la proporción de sexos.

Las avispas recuperadas fueron almacenadas en etanol al 75% (Upton y Mantle 2010). Los parasitoides de la familia Aphelinidae y del género *Coccobius*, *Aphytis* y *Ablerus* fueron identificados según las claves propuestas por Hanson (1995) y sexados según observaciones en diferencias morfológicas en antenas y ovipositor. En el caso de los insectos de la familia Encyrtidae y del género *Plagiomerus* fueron identificados según las claves propuestas por Noyes (1980) y sexadas según observaciones en diferencias morfológicas en antenas. El porcentaje de machos fue calculado según la ecuación 2.

$$\%machos = \frac{\# machos adultos emergidos}{Total parasitoides emergidos} \times 100 \quad (\text{ecuación 2})$$

Además, las identificaciones fueron confirmadas por la Dra. Svetlana Nikolaevna Myartseva y la Dra. Juana María Coronado Blanco, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Adolfo López Mateos, Tamaulipas, México. El Dr. Paul Hanson, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica y el Dr. John Noyes, Museo Británico de Historia Natural, Londres, Reino Unido.

3.4. Identificación de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae).

La identificación de la escama se realizó mediante técnicas moleculares, donde escamas recuperadas durante los muestreos de campo fueron almacenadas en etanol absoluto y conservadas en frío (Morse y Normack 2006). Se realizó extracción de ADN según Brandfass y Karlovsky (2008), con modificaciones hechas en CORBANA en el 2013, de cuatro muestras conteniendo una sola hembra de escama y a seis muestras conteniendo grupos de cinco hembras de escama, cada una. Se utilizaron los cebadores de oligonucleótidos para amplificar regiones del gen EF1 α , donde el iniciador sentido EF-1a(a) (GATGCTCCGGGACAYAGA) fue apareado con el iniciador antisentido EF2 (ATGTGAGCGGTGTGGCAATCCAA) y los segmentos de expansión D2 y D3 del gen 28S apareando el iniciador sentido s3660 (GAGAGTTMAASAGTACGTGAA-AC) con el iniciador antisentido 28b (TCGGAAGGAACCAGCTACTA), según lo propuesto por Morse y Normack (2006) y mediante protocolos estándar de PCR utilizando un termociclador programable Veriti[®] (Applied Biosystems, USA). La secuenciación por Macrogen Inc, la edición de secuencias mediante el programa BioEdit, la hebra consenso obtenida se copió en la página web “Blast” del NCBI (National Center for Biotechnology Information) para la obtención de la identificación molecular y porcentaje de identidad con secuencias reportadas previamente.

4. Resultados.

4.1. Condiciones climáticas durante el 2018 de las zonas evaluadas.

En la figura 7 se puede apreciar la precipitación y temperatura mínima, máxima y promedio, durante el 2018, de las zonas climáticas muestreadas, según datos climáticos de las estaciones meteorológicas de BANACLIMA-CORBANA. La temperatura media en la zona climática G7a fue de 24 – 26 °C, con el pico mayor de temperatura en el mes de mayo, en cuanto a la precipitación, la mayor acumulación se dio en los meses de junio y julio, acumulando en promedio 194 mm y 291 mm, respectivamente (figura 7A).

En cuanto a las condiciones climáticas presentes en la zona F3 (figura 7B), la temperatura media osciló entre 24 – 27 °C, con los picos de mayor temperatura en los meses de mayo y septiembre y presentando altas precipitaciones en junio, julio y agosto (91 mm, 190 mm y 112 mm, respectivamente), presentando la mayor acumulación en el mes de julio. En el caso de las zonas climáticas E6 y F6 (figura 7C), la temperatura fue media fue de 24 – 26 °C, con picos de mayor temperatura en los meses de mayo y septiembre, acumulando las mayores precipitaciones en el mes de julio (154 mm).

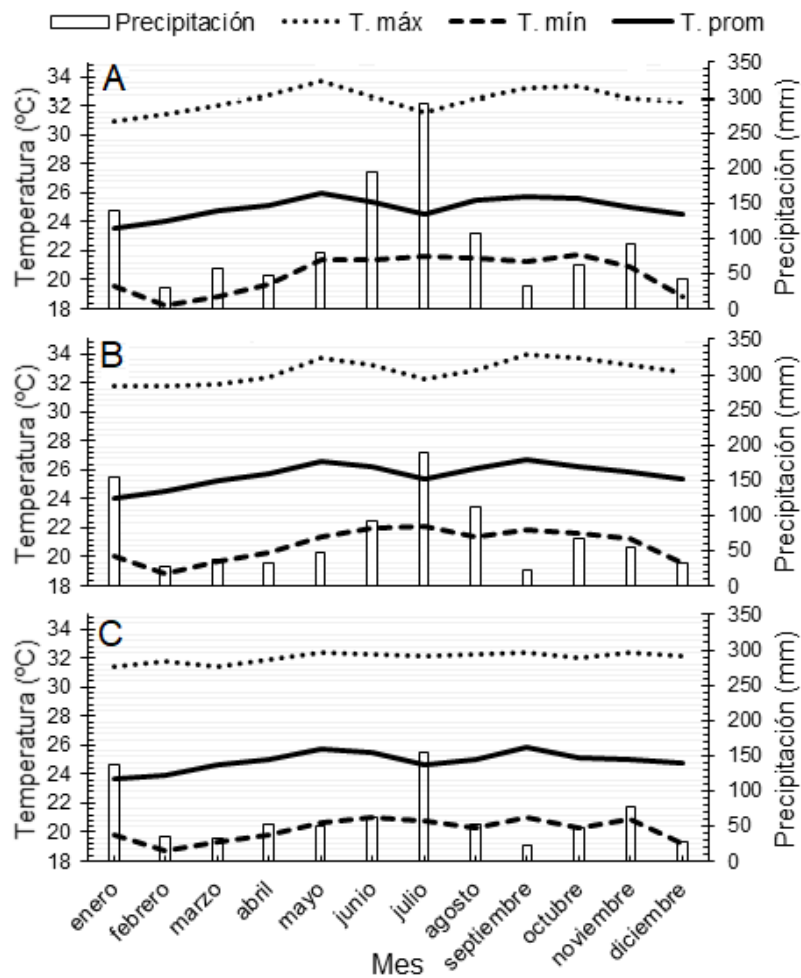


Figura 7. Precipitación y temperatura máxima, mínima y promedio mensual, durante el año 2018 en A- zona climática G7a (estaciones meteorológicas Islas Sarapiquí, Las Valquirias, Penjamo); B- zona climática F3 (estaciones meteorológicas 28 millas, Bananera Siquirres, Cartagena, Finca Chirripó y Limofrut B); C- zona climática E6 y F6 (estaciones meteorológicas País y Agrotubérculos) (Datos proporcionados por BANACLIMA-CORBANA).

4.2. Identificación de la escama *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) y clave para la identificación de familias y géneros de sus parasitoides e hiperparasitoides.

En el cuadro 3, se puede observar como en todas las muestras analizadas fueron *D. boisduvalii*, obteniéndose porcentajes de identidad mayores al 98% con secuencias previamente reportadas.

Cuadro 3. Identificación molecular de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) gen amplificado y porcentaje de identidad con secuencias reportadas previamente.

# de escamas/muestra	Gen	Organismo coincidente NCBI	% ident.	% cover.
1	EF1 α	*	*	*
5	EF1 α	<i>Diaspis boisduvalii</i>	98	79
5	EF1 α	<i>Diaspis boisduvalii</i>	98	80
1	28S	*	*	*
1	28S	<i>Diaspis boisduvalii</i>	98	94
1	28S	<i>Diaspis boisduvalii</i>	99	95
5	28S	<i>Diaspis boisduvalii</i>	98	95
5	28S	<i>Diaspis boisduvalii</i>	98	95
5	28S	<i>Diaspis boisduvalii</i>	99	95
5	28S	<i>Diaspis boisduvalii</i>	99	95

*Secuencias contaminadas

Tres distintas especies de parasitoides; dos de la familia Aphelinidae, géneros *Coccobius* y *Aphytis* y uno de la familia Encyrtidae del género *Plagiomerus* y un hiperparasitoide de la familia Aphelinidae del género *Ablerus*, asociados a la escama de boisduval (*D. boisduvalii*), fueron recuperadas de muestras de pseudopociolos de banano (*Musa AAA*).

Clave para la identificación de familias y géneros de parasitoides e hiperparasitoides (Hymenoptera) de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*) en el cultivo de banano (*Musa AAA*) de la Vertiente Caribe de Costa Rica.

- 1 Tibia media con un espolón grande en el ápice; ala anterior con vena marginal muy corta; cercos situados frente a la parte posterior del metasoma; axilas transversas y tocándose al medio (fig.8.1).....*Plagiomerus* ... (Encyrtidae)
- Espolón apical de tibia media no tan grande; ala anterior con vena marginal muy larga (fig. 8.2); cercos situados en la parte posterior del metasoma; axilas normalmente no tocándose al medio (fig. 8.3) (Aphelinidae).....2

- 2 Antena con 6 o menos segmentos; ala anterior usualmente con línea calva presente (fig. 8.2).....*Aphytis*
- Antena con 7 a 9 segmentos (figs. 8.4-8.5); ala anterior con línea calva generalmente ausente.....3
- 3 Antena con 4 segmentos funiculares, tercer segmento funicular usualmente más corto que los otros (fig. 8.4); cuerpo a menudo ligeramente color metálico..... *Ablerus*
- Antena con 3 segmentos funiculares, y 2 segmentos en la clava, tercer segmento funicular similar en tamaño a lo demás (fig. 8.5); cuerpo nunca metálico..... *Coccobius*

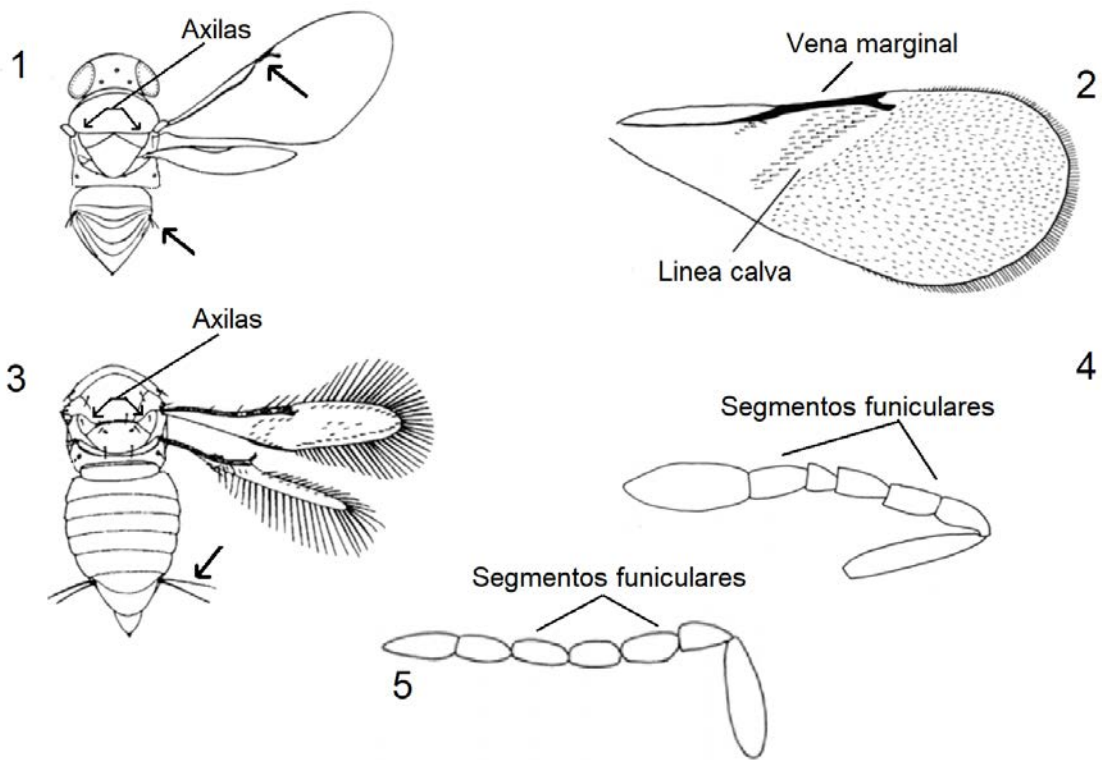


Figura 8. Fig. 8.1. *Plagiomerus* sp. (Encyrtidae). (las flechas indican las axilas casi tocándose, cercos y la vena marginal corta). Figs. 8.2-8.5. Aphelinidae. Fig. 8.2. Mostrando vena marginal larga y línea calva; Fig. 8.3. Mostrando base de metasoma ancha (sin constricción evidente, las flechas indican las axilas no tocándose al medio y cercos). Figs. 8.4-8.5. Antena hembra. Fig. 8.4. *Ablerus* sp. (Aphelinidae) Fig. 8.5. *Coccobius* sp. (Aphelinidae)

En la figura 9A se puede observar un espécimen hembra en vista dorsal de *Plagiomerus* sp. asociado a la escama de boisduval (*D. boisduvalii*) en el cultivo de banano (*Musa AAA*) y las antenas de la hembra (figura 9B) y del macho (figura 9C), forma de diferenciar entre sexos.



Figura 9. *Plagiomerus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae) asociado a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae). A- Vista dorsal hembra. B- Antena hembra. C- Antena macho.

En la figura 10A se puede apreciar un espécimen hembra en vista lateral de *Coccobius* sp., asociado a la escama de boisduval (*D. boisduvalii*) en el cultivo

de banano (*Musa AAA*) y las antenas del macho (figura 10B) y de la hembra (figura 10C), forma de diferenciar entre sexos.



Figura 10. *Coccobius* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) asociado a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae). A- Vista lateral hembra. B- Antena macho. C- Antena hembra.

Se puede observar en la figura 11, un espécimen hembra de *Aphytis* sp. en vista dorsal, parasitoide de la escama de boisduval (*D. boisduvalii*) en el cultivo de banano (*Musa AAA*).



Figura 11. Vista dorsal de una hembra del genero *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae) asociado a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae).

En la figura 12 se puede observar los hoyos realizados por las distintas avispas parasitoides en el hospedador (*D. boisduvalii*), donde el hoyo realizado por *Plagiomerus* sp. (figura 12A) es de mayor tamaño, de forma circular y más irregular. El realizado por *Coccobius* sp. (figura 12B) presenta una forma circular más regular y el realizado por *Aphytis* sp. (figura 12C) es de menor tamaño, de forma alargada y se puede presentar varios en la misma hembra de escama de boisduval.

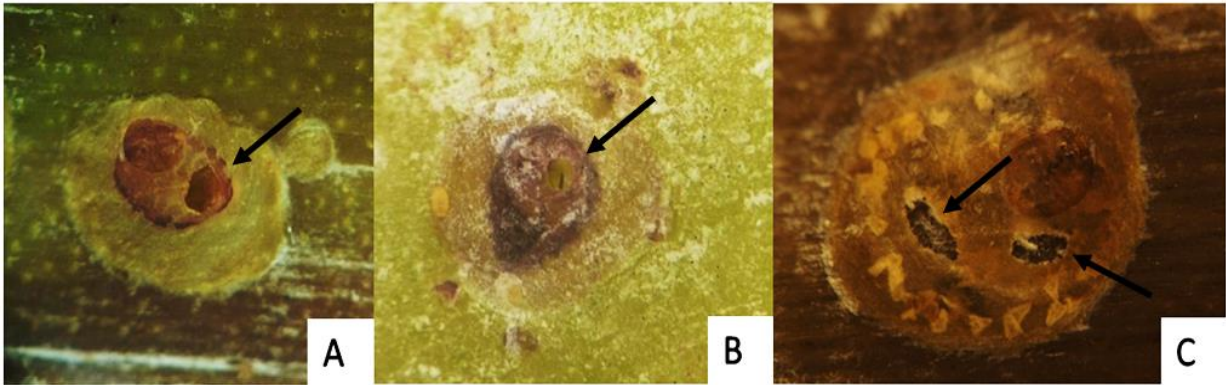


Figura 12. Hoyo realizado en la emergencia por los diferentes parasitoides asociados a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae). A- *Plagiomerus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae) B- *Coccobius* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae). C- *Aphytis* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae)

En cuanto al número de pupas por hembra de escama, en el cuadro 4 se puede observar que tanto *Plagiomerus* sp., como *Coccobius* sp. presentan una única pupa por hembra de escama, sin embargo, *Aphytis* sp. presenta, en promedio, 3 pupas por hembra del hospedador. Por lo que, en el cálculo de porcentaje de parasitismo, se realizó la corrección en base a una relación 1:3 hospedador-parasitoide, para el caso de *Aphytis* sp.

Cuadro 4. Media (\pm EE) y rango, del número de pupas por hembra de los diferentes parasitoides asociados a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*).

Parasitoide	n	Pupas / hembra	
		Media (\pm EE)	Rango
<i>Plagiomerus</i> sp	15	1	-
<i>Coccobius</i> sp	15	1	-
<i>Aphytis</i> sp	35	3 ($\pm 0,2$)	(1-6)

En cuanto al tipo de pupa, en la figura 13A se puede observar que *Aphytis* sp. presenta pupas externas y agregadas. Mientras que, *Plagiomerus* sp. y *Coccobius* sp. pupan dentro del cuerpo del hospedador en forma individual (figuras 13B y 13C).

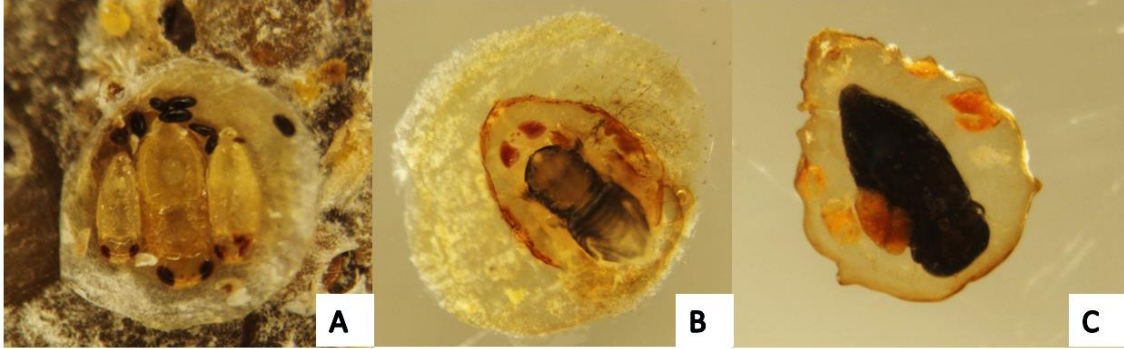


Figura 13. Pupas de los diferentes parasitoides asociados a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae). A- *Aphytis* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae). B- *Plagiomerus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae). C- *Coccobius* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae).

En la figura 14, se puede observar especímenes del género *Ablerus*. En donde, la figura 14A y 14B muestran a una hembra y un macho en vista lateral, respectivamente. En la figura 15 se observa la frecuencia de aparición de *Ablerus* sp., donde en el 100% de los casos estaba asociado a otra avispa parasitoide. En el 58% de los casos en los que se recuperaron avispas de este género en las muestras, estaban asociados únicamente a especímenes del género *Coccobius*, el 6% de los casos asociado a especímenes de *Coccobius* sp. y *Plagiomerus* sp., el 3% de los casos en asocio con *Coccobius* sp. y *Aphytis*

sp., 15% estaban asociados únicamente a especímenes *Plagiomerus* y en el 18% de los casos, asociado a muestras con presencia de especímenes de los tres géneros, *Coccobius* sp., *Plagiomerus* sp. y *Aphytis* sp.



Figura 14. Especímenes de *Alerus* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae). asociado a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae). A- Vista lateral hembra. B- Vista lateral macho.

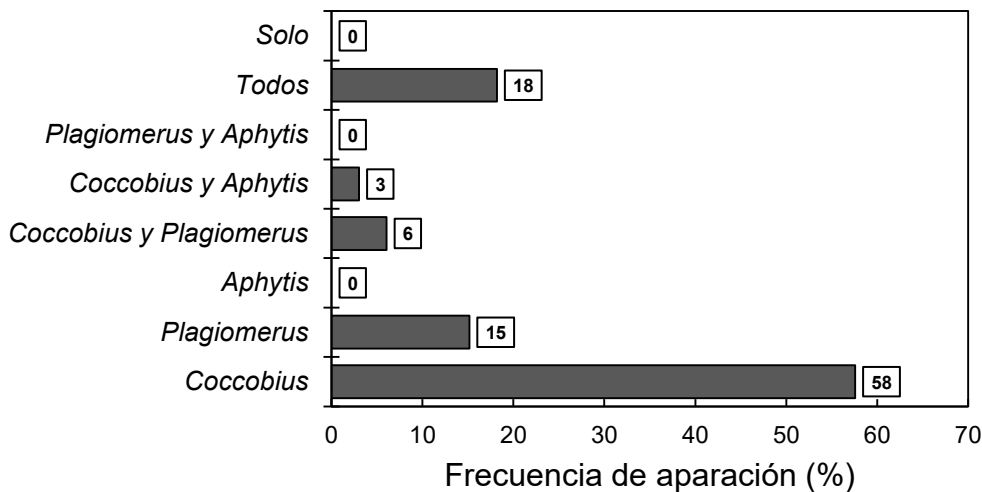


Figura 15. Frecuencia de aparición de *Ablerus* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) respecto a la aparición de avispa del género *Coccobius* (Hymenoptera: Aphelinidae), *Plagiomerus* (Hymenoptera: Encyrtidae), *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae) y la combinación de estas, asociadas a la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae).

4.3. Porcentaje de parasitismo ejercido por los parasitoides asociados a *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) y proporción de sexos.

En la figura 16 se observa el porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *D. boisduvalii* por cm², presente en el sitio de muestreo 1, en la zona climática

G7a, durante los meses de abril hasta agosto del 2018. Donde se puede observar una relación entre el porcentaje de parasitismo con la densidad de hembras de escama, ya que en el mes de abril y agosto se presentaron los valores más altos de parasitismo (35 % y 41 %, respectivamente) y más bajos de densidad de la plaga (1.1 hembras / cm² en promedio). El porcentaje de parasitismo se debió principalmente a *Plagiomerus* sp., excepto en agosto, donde *Coccobius* sp. presentó un 4% de parasitismo, en este sitio de muestreo.

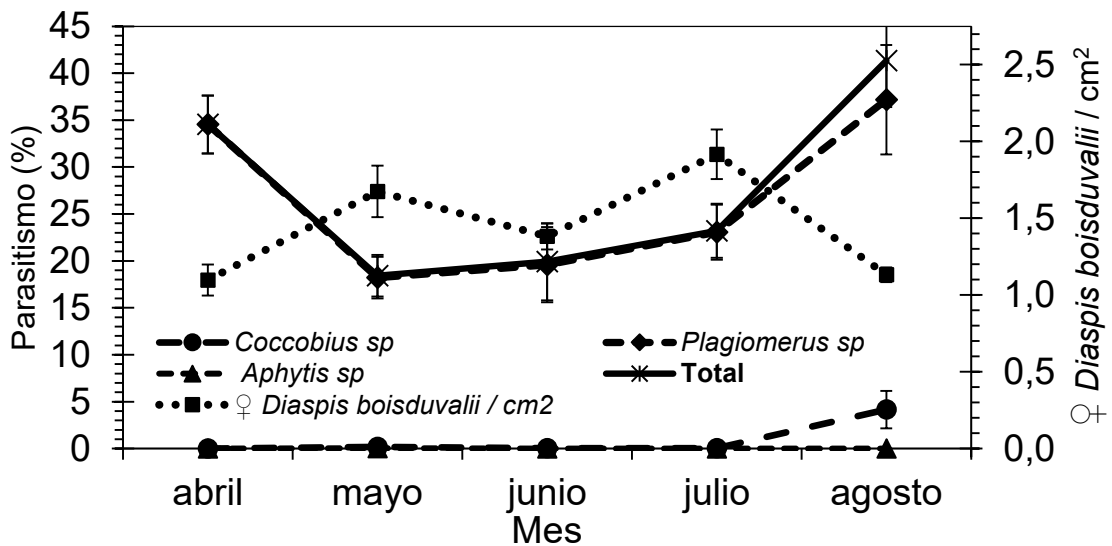


Figura 16. Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 1, zona climática G7a, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish) de la Vertiente caribe de Costa Rica.

En la figura 17 se detalla el porcentaje de parasitismo y densidad de la plaga durante los meses de evaluación del sitio de muestreo 2, zona climática G7a. Donde se puede observar como a partir de mayo se da un incremento exponencial de la plaga, pasando de 0.9 hembras / cm² en promedio en mayo al incremento más alto en julio con un promedio de 2.5 hembras de la escama / cm², además en el mes de mayo se da una aplicación de oxamyl al suelo para el manejo de nematodos. Después del mes de julio se reducen las poblaciones de la plaga hasta alcanzar en promedio 1.7 hembras / cm². Se realizó durante el periodo de muestreo, una aplicación de la molécula pyriproxyfen de forma terrestre para el manejo de la escama, entre el mes de junio y julio.

El porcentaje de parasitismo se debió principalmente a *Coccobius* sp. durante los primeros tres meses, donde se puede observar un 7.7 % de parasitismo al inicio del muestreo, en el mes de abril. Este porcentaje aumenta en el mes de mayo hasta alcanzar un 18% y se mantiene en el mes de junio e inicia a caer en julio, presentando alrededor de un 8% y disminuyendo aún más en agosto con un 5%. Sin embargo, el porcentaje de parasitismo total se mantuvo estable, debido al porcentaje de parasitismo ejercido por el parasitoide del género *Aphytis*, en los meses de julio y agosto, donde alcanzaron alrededor de un 8% en ambos meses.

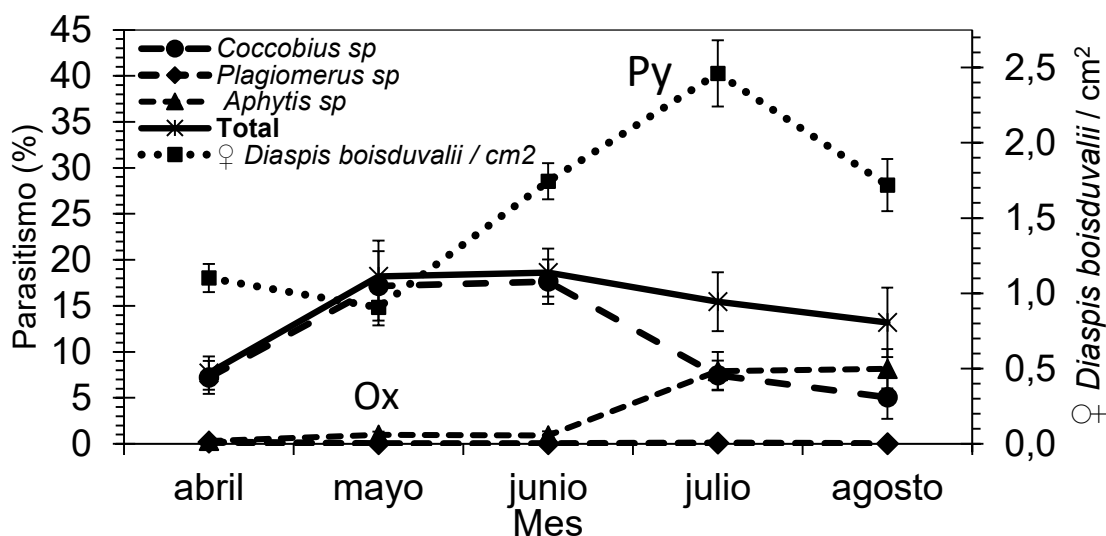


Figura 17. Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 2, zona climática G7a, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa AAA*, subgrupo Cavendish) de la Vertiente caribe de Costa Rica. Donde Py = aplicación de pyriproxyfen. Ox = aplicación de oxamyl al suelo (control nematodos).

En el sitio de muestreo 3, en la zona climática G7a (figura 18), se puede observar la mayor densidad de hembras de *D. boisduvalii* en los meses de junio y julio con alrededor de 2 hembras / cm² en promedio. Se realizó en este sitio durante el periodo de muestreo, una aplicación de sales potásicas para el manejo de la

plaga, entre las evaluaciones del mes de junio y julio. En cuanto al porcentaje de parasitismo, se puede observar que en ambos meses se presentan los porcentajes más altos, con un 17 y 15 % respectivamente. Estos valores se debieron en mayor medida a *Coccobius* sp. y en menor medida a *Aphytis* sp. Sin embargo, los porcentajes de ambos se mantuvieron estables en el tiempo.

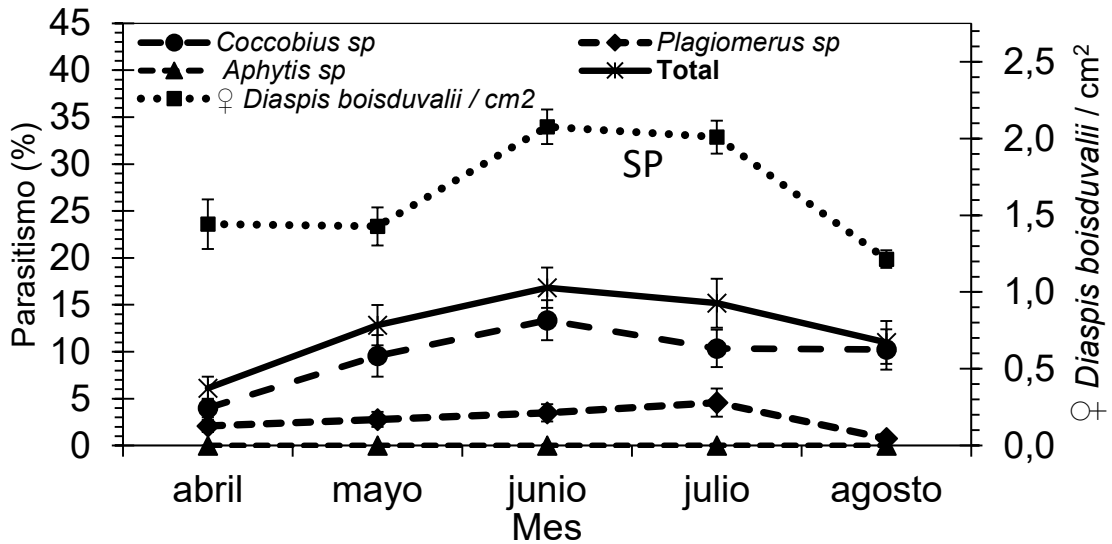


Figura 18. Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 3, zona climática G7a, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la Vertiente caribe de Costa Rica. Donde SP = aplicación de sales potásicas.

En el sitio de muestreo 4, zona climática F3 (figura 19) se puede observar que la densidad de la plaga se mantuvo estable con al alrededor de 1 hembra / cm², a excepción de un mayor pico de la plaga en el mes de julio, donde alcanzó en promedio 1.6 hembras / cm². En este sitio durante el periodo de muestreo, se realizó en abril una aplicación de oxamyl al suelo para el manejo de nematodos y una aplicación de aceite de forma terrestre, para el manejo de plaga, entre las evaluaciones del mes de junio y julio.

En cuanto al porcentaje de parasitismo total, este se mantuvo estable durante los meses de evaluación, con valores entre un 12 y 18 %, debiéndose principalmente a *Coccobius* sp., a excepción del mes de mayo, donde el porcentaje de parasitismo de esta especie disminuyó a cerca del 7 %, y a la vez, presentándose un incremento en dicho mes del parasitismo por *Aphytis* sp. a cerca del 6 % y *Plagiomerus* sp. con un porcentaje de parasitismo de alrededor del 1.5 %, estabilizando el parasitismo total.

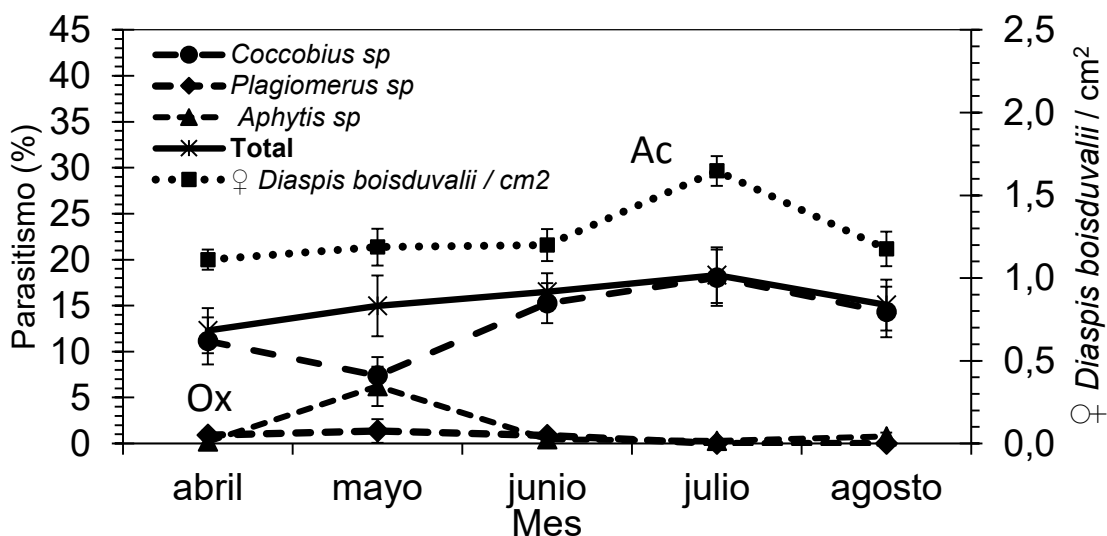


Figura 19. Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 4, zona climática F3, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la Vertiente caribe de Costa Rica. Donde Ac = aplicación de aceite terrestre. Ox = aplicación de oxamyl al suelo (control de nematodos).

En la figura 20, del sitio de muestreo 5, zona climática F3, se pueden observar dos momentos de mayor presión de la plaga, el primero en el mes de mayo y el segundo en el mes de julio, con 1.7 y 1.4 hembras de la escama / cm² en promedio. Además, en ese sitio le realizaron dos aplicaciones aéreas de un producto a base de azufre, como parte de la estrategia de manejo realizado por

la finca, entre las evaluaciones del mes de mayo y junio y de julio y agosto, respectivamente. Además, una aplicación de oxamyl al suelo en junio como parte del manejo de nematodos. El porcentaje de parasitismo total presente estuvo entre 1.8 y 4.5 %, observándose el porcentaje más bajo en el mes de julio, los parasitoides presentes fueron *Coccobius sp.* y *Plagiomerus sp.*

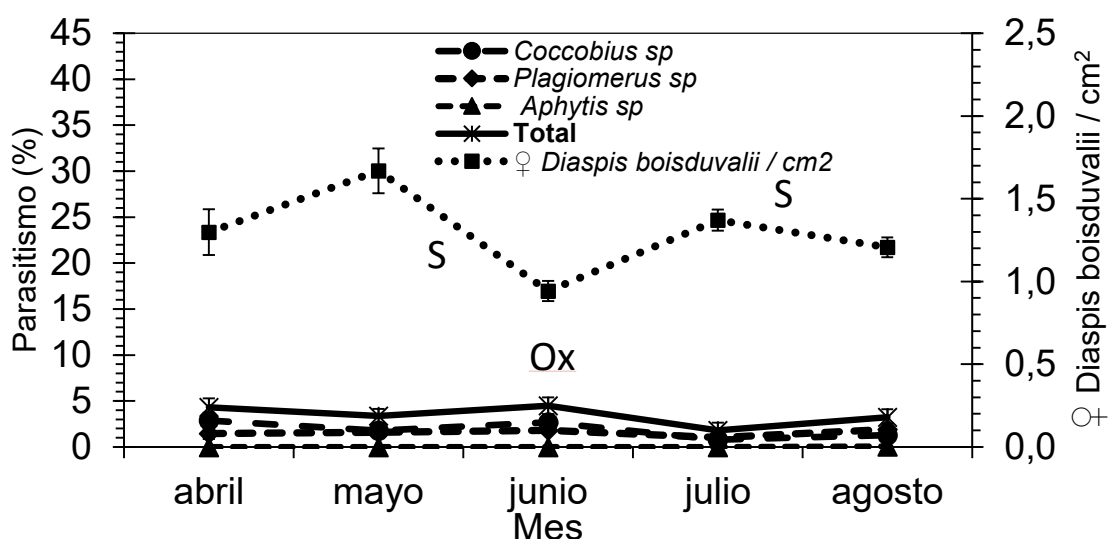


Figura 20. Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 5, zona climática F3, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa AAA*, subgrupo Cavendish) de la Vertiente caribe de Costa Rica. Donde S = aplicación de un producto a base de azufre. Ox = aplicación de oxamyl al suelo (control de nematodos).

En cuanto al sitio de muestreo 6, presente en la zona climática F3, se puede observar en la figura 21 que la plaga presenta un incremento creciente desde abril hasta el pico de mayor infestación se presentó en el mes de junio, con una densidad de plaga promedio de 1.1, 1.4 y 1.9 hembras de escama / cm² en los meses de abril, mayo y junio, respectivamente, disminuyendo el mes de julio a cerca de 1 hembra / cm², después de una aplicación terrestre de aceite, entre las evaluaciones del mes de junio y julio, como parte de la estrategia de manejo realizado por la finca. Además, en este sitio de muestreo se da una segunda aplicación de aceite entre las evaluaciones del mes de julio y agosto.

El porcentaje de parasitismo total estuvo entre 1.9 y 6.2 %, observándose el porcentaje más bajo en el mes de julio, presentando únicamente 1.9 % de parasitismo. Los parasitoides presentes en este sitio de muestreo fueron *Coccobius* sp. y *Plagiomerus* sp.

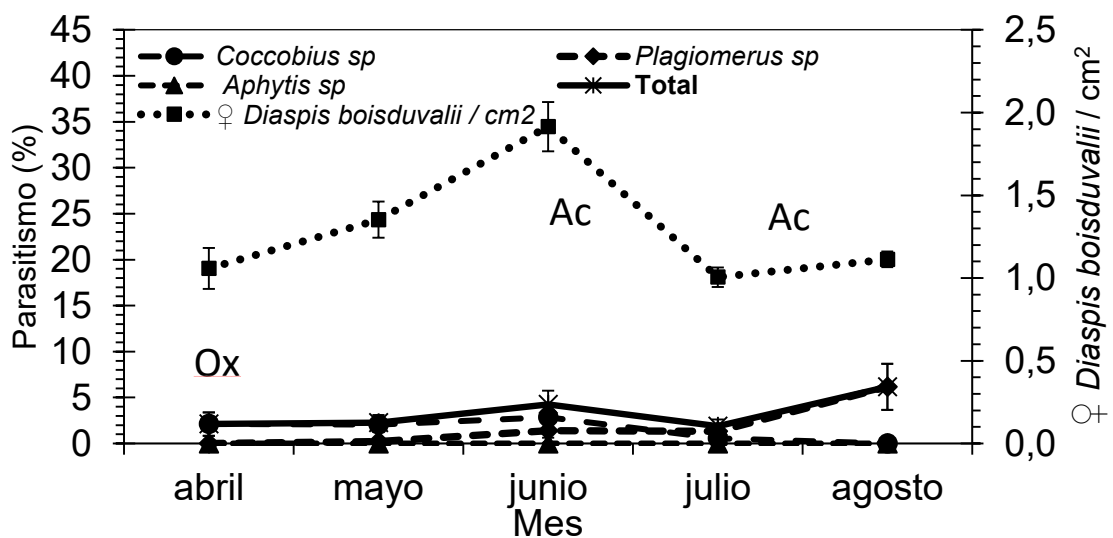


Figura 21. Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 6, zona climática F3, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica. Donde Ac = aplicación de aceite. Ox = aplicación de oxamyl al suelo (control de nematodos).

En la figura 22 se puede observar el porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *D. boisduvalii* por cm², presente en el sitio de muestreo 6, presente en la zona climática E6, donde se puede observar una relación entre el porcentaje de parasitismo con la densidad de hembras de escama, ya que en los meses donde la densidad de la escama fue mayor, el porcentaje de

parasitismo fue menor (abril, junio y agosto) y viceversa (mayo y julio). El porcentaje de parasitismo se debió principalmente a *Coccobius* sp., excepto en julio, donde *Coccobius* sp. disminuyó, presentando el pico más bajo de parasitismo (10 %), y a la vez, presentándose un incremento en dicho mes del parasitismo por *Aphytis* sp. a cerca del 9 % y *Plagiomerus* sp. con un porcentaje de parasitismo de alrededor del 5 %, estabilizando el parasitismo total.

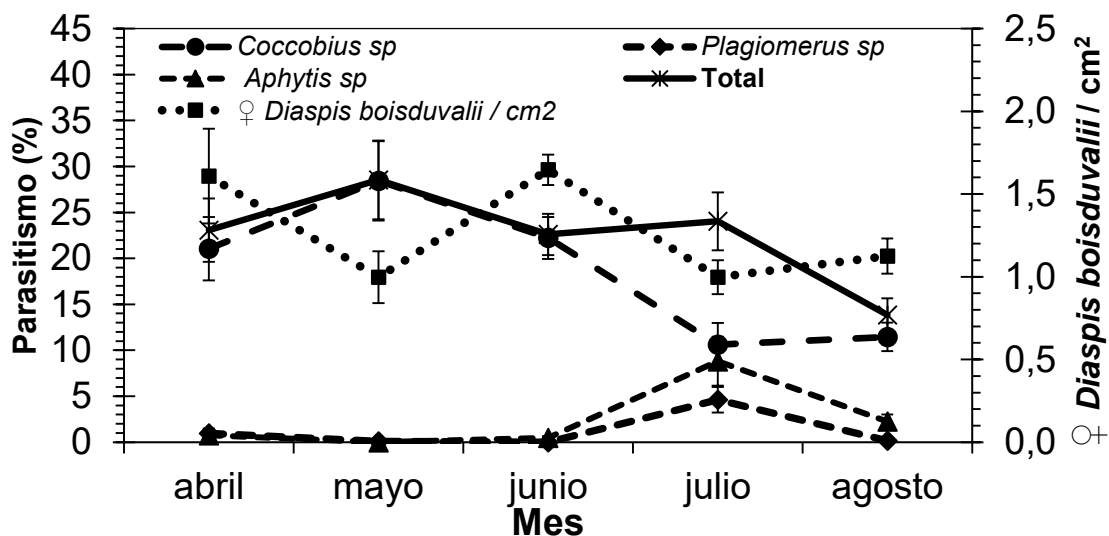


Figura 22. Porcentaje de parasitismo y densidad de hembras de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) en el sitio de muestreo 7, zona climática E6, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica.

En la figura 23 se puede observar el porcentaje de machos de cada especie de parasitoide de *D. boisduvalii*, donde *Plagiomerus* sp. presentó 1 % de machos (n=4184), *Coccobius* sp. 13 % de machos (n=2539), *Aphytis* sp. un 21 % (n=1460) y *Ablerus* sp un 52 % (n=33).

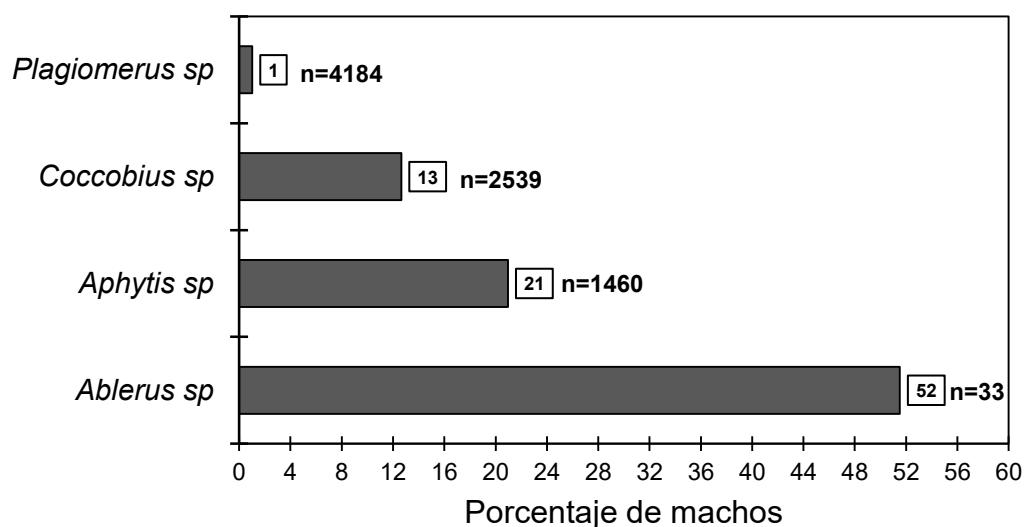


Figura 23. Porcentaje de machos de cada especie de parasitoides e hiperparasitoide de la escama *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae), en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica. Donde n= número de especímenes analizados.

5. Discusión.

Los resultados del análisis de identificación molecular de la escama utilizando secuencias del gen de codificación de proteínas nucleares EF1 α y el gen 28S del rADN (Morse y Normack 2006) mostraron que todas las muestras analizadas, el porcentaje de identidad fue mayor al 98% con secuencias depositadas en el NCBI GenBank usando BLAST, logrando comprobar satisfactoriamente que la identidad del hospedador es *D. boisduvalii*.

Las especies de avispas parasitoides de *D. boisduvalii* son, en el caso de los especímenes de *Coccobius* y *Plagiomerus*, nuevas especies, ya que no coincidieron con ninguna de las especies descritas a nivel mundial, según muestras analizadas por la Dra. Svetlana Nikolaevna Myartseva y la Dra. Juana María Coronado Blanco, para el caso de *Coccobius* sp., y por el Dr. John Noyes y el Dr. Andrew Polaszek, para el caso de *Plagiomerus* sp. y *Coccobius* sp. respectivamente. Además, es el primer registro de asociación de todos estos parasitoides con *D. boisduvalii*.

Especímenes de *Coccobius* sp. y *Plagiomerus* sp. son endoparasitoides primarios solitarios de *D. boisduvalii* (cuadro 4, figura 13), es decir, solo colocan un huevo por puesta, desarrollándose solo una larva por hospedero, dentro del cuerpo de la hembra de la escama. Sin embargo, distintos estudios han

documentado heteronomía en el género *Coccobius*, siendo los machos ectoparasitoides secundarios, desarrollándose en larvas maduras, prepupas y pupas de su especie o de otras especies de himenópteros (Myartseva et al. 2012b, Ding et al. 1995, Polaszek y Hanson 2006).

La especie del género *Aphytis* recuperada de *D. boisduvalii* es un ectoparasitoide primario gregario (cuadro 4, figura 13), es decir, ponen más de un huevo por ovoposición y se desarrolla más de una larva por hospedero, comportamiento ya descrito por diversos autores para especies de este género (Myartseva et al. 2012b, Polaszek y Hanson 2006, Rosen y DeBach 1979). En este caso, en promedio se desarrollan 3 larvas de este parasitoide por hembra del hospedador, con un rango de una hasta seis larvas.

En cuanto a los insectos del género *Ablerus*, se recuperaron en el 100 % de los casos en asocio con otros parasitoides (figura 15), por lo que se puede tratar de un hiperparasitoide de *Coccobius* sp., *Plagiomerus* sp. y *Aphytis* sp., parasitoides primarios de *D. boisduvalii*. Este género es ampliamente conocido por poseer, en su mayoría, especies hiperparasíticas (Polaszek y Hanson 2006, Abd-Rabou 2015, Myartseva et al. 2012a).

La mayor diversidad de estos insectos se encontró en el sitio de muestreo 7 (figura 22), donde hubo presencia de todas las especies. Este sitio presenta una

cobertura vegetal del suelo, no uso de herbicidas, sin aplicaciones de insecticidas para el manejo de la escama y sin aplicaciones de nematicidas. En términos generales, los agroecosistemas carecen de la biodiversidad y la complejidad ecológica de los ecosistemas naturales, esquema observado en los demás sitios de muestreo, manejados de forma intensiva, donde sitios con alta intensificación agrícola, la reducción de bosques y setos y sistemas de siembra continua tienen un efecto sobre diversidad de parasitoides (Heraty 2009),

Asimismo, sistemas de manejo intensivos y el papel del uso de plaguicidas y de los recursos vegetales, puede influir en la efectividad del control biológico en los agroecosistemas (Landis et al. 2005, Heraty 2009, Marino et al. 2006, Cloyd 2012, Montañez y Amarillo-Suárez 2014, Price 1991). Esto se pudo observar en el comportamiento del parasitismo, donde el uso de moléculas como oxamyl y pyriproxyfen presentan tendencias a disminuir el porcentaje de parasitismo de *Coccobius* sp. (figuras 17 y 19) y donde los sistemas de manejo intensivos, con aplicaciones de azufres y aceites presentaron los porcentajes de parasitismo más bajos, con no más de 4.5 % y 6.2 %, respectivamente (figuras 20 y 21).

Sin embargo, se pudo observar como al haber disminuciones en el porcentaje de parasitismo ejercido por *Coccobius* sp., después del uso de estas moléculas, el porcentaje de parasitismo ejercido por *Aphytis* sp. aumenta (figuras 17 y 19).

No hay estudios sobre el efecto directo de estas moléculas sobre estos insectos, sin embargo, se ha documentado sobre la tolerancia de los adultos de *A. melinus* al pyriproxifen (Biondi et al. 2015).

Además, la competencia interespecífica entre especies de parasitoides y específicamente entre especies de Aphelinidae, ha sido discutida numerosas veces en la literatura (Bográn et al. 2002, Pang et al. 2011, Collier y Hunter 2001, Sugiura y Takagi 1996, Walter 1988). Competencia que podría explicar el incremento del parasitismo de otros parasitoides como *Aphytis* sp. en respuesta a la reducción del parasitismo por *Coccobius* sp. ya que este comportamiento además de observarse en respuesta a aplicaciones de agentes químico (figuras 17 y 19) también se observó en un sitio donde no se realizan aplicaciones dirigidas de insecticidas ni nematocidas (figura 22), siendo necesario investigar en mayor detalle la interacción entre especies de parasitoides.

Igualmente, la ubicación espacial de las fincas tuvo influencia sobre la dispersión del parasitoide *Plagiomerus* sp. presentándose principalmente en los sitios alejados, con poca actividad bananera, menor uso de agentes químicos de control y un estado de sucesión tardío de la vegetación en torno, específicamente en los sitios 1 y 7 de muestreo (Figuras 1, 16 y 22). Este comportamiento demuestra que podría tener un hospedero alternativo silvestre y la

importancia del paisaje que rodea el monocultivo de banano, recurso esencial para mantener la abundancia de parasitoides (Heraty 2009, Landis et al. 2005, Bianchi et al. 2006, Benton et al. 2003, Price 1991).

El clima por su parte, tiene un impacto en las poblaciones de insectos, afectando la interacción parasitoide-hospedero (Wetherington et al. 2017, Heraty 2009). Esto se observó en el incremento generalizado de la escama durante los meses de junio y julio, como respuesta a mayores temperaturas y baja precipitación observados en los meses de abril y mayo. En contraste, durante el mes de agosto se da una disminución generalizada de la plaga, quizás como consecuencia de la disminución de la temperatura y aumento de la precipitación durante los meses de junio y julio.

Estos cambios en la dinámica poblacional de la escama influyen en el porcentaje de parasitismo, ya que este indicador es dependiente de la densidad del hospedero (Umbanhower et al. 2003, White y Andow 2017, de Pedro et al. 2017, Price 1991). Esto se pudo observar en los sitios donde las prácticas de manejo no afectaron directamente la dinámica de la plaga (Figuras 16 y 22), donde en respuesta a un incremento en el parasitismo, la densidad del hospedador disminuye y viceversa, observándose una dinámica fluctuante, regulación poblacional e interacción parasitoide-hospedero densodependiente.

Mostrando alto potencial para el establecimiento de un manejo integrado de esta plaga, en base a la densidad de la escama, pero considerando el efecto de los enemigos naturales (Van Driesche et al. 2008, Van Driesche y Bellows 1996, Dhaliwal y Arora 2001, Heraty 2009).

La proporción de sexos fue otro de los parámetros estudiados y de gran importancia, en donde las especies *Coccobius* sp. y *Aphytis* sp. recuperadas, son especies biparentales con reproducción arrenotoka, donde los machos son comunes, sin embargo, raramente la proporción sexual es 1:1 (Myartseva et al. 2012b). Representando los machos solo un 13 % y 21 % en *Coccobius* sp. y *Aphytis* sp.

Por otra parte, el porcentaje de machos fue de solo 1 % en *Plagiomerus* sp. donde el simbionte bacterial *Cardinum* ya ha sido previamente implicado en la partenogénesis telitoka de parasitoides de este género, por lo que las hembras pueden producir descendencia hembra sin ser copuladas (Matalon et al. 2007, Harris et al. 2010, Myartseva et al. 2012). Esto puede ser un factor clave en el potencial de *Plagiomerus* sp. para la cría masiva (Heimpel y Lundgren 2000).

6. Conclusiones.

- Se informa sobre la presencia de tres parasitoides de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*: Hemiptera: Diaspididae) en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente Caribe de Costa Rica, los cuales fueron identificados a nivel de género como *Coccobius* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae), *Plagiomerus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae) y *Aphytis* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) y un espécimen hiperparasitoide agrupado dentro del género *Ablerus* (Hymenoptera: Aphelinidae).
- Los especímenes del género *Coccobius* y *Plagiomerus*, son nuevas especies, ya que no coincidieron con ninguna de las especies ya descritas a nivel mundial, siendo un importante aporte en la identificación de la diversidad del país.
- Se incorpora una clave para la identificación de las familias y géneros de parasitoides e hiperparasitoides (Hymenoptera) de la escama de boisduval (*Diaspis boisduvalii*) en el cultivo de banano (*Musa* AAA) de la vertiente Caribe de Costa Rica, la cuál será de gran utilidad para el sector.

- Se pudo observar que existe una relación entre la cantidad de plaga y el porcentaje de parasitismo, donde a menor parasitismo, mayor densidad de la plaga, con una dinámica fluctuante e interacción parasitoide-hospedero densodependiente. Regulación poblacional apta para el establecimiento de un manejo integrado, según la densidad de la plaga, pero considerando el parasitismo.
- Se observaron efectos en la distribución espacial de *Plagiomerus* sp., presentándose en los sitios alejados, principalmente con poca actividad bananera, menor uso de agentes de control químicos y un estado de sucesión tardío de la vegetación en torno. En contraste a *Coccobius* sp., que está distribuido en toda la vertiente Caribe.
- Al parecer, existe competencia entre las distintas especies de parasitoides (competencia interespecífica). Además, se evidencia efectos adversos de aplicaciones dirigidas al manejo de la plaga y aplicaciones de oxamyl, sobre poblaciones de parasitoides, presentándose menores porcentajes de parasitismo en sitios con aplicaciones constantes de aceites y azufres y disminuciones puntuales del porcentaje de parasitismo ejercido por *Coccobius* sp. en respuesta de aplicaciones de moléculas como pyriproxyfen y oxamyl.

- *Plagiomerus* sp. presenta alto potencial de crianza por presentar un porcentaje de machos únicamente del 1 % (partenogénesis telitoka), característica de gran importancia en la cría masiva de insectos parasitoides.
- Se documentó la presencia de gran diversidad de avispas parasitoides con alto potencial para el uso como controladores biológicos, por ser nativos y adaptados a nuestras condiciones.

7. Recomendaciones

- Explorar e implementar prácticas que permitan la conservación y el aprovechamiento de las avispas parasitoides, dentro del marco del manejo integrado de plagas, permitiendo disminuir el uso de agentes químicos en el manejo de esta plaga, disminuyendo el impacto de estos en el ambiente y salud de las personas.
- Identificar las especies vegetales con capacidad de albergar las avispas parasitoides de la escama *D. boissduvalii* y promover su conservación y/o establecimiento en las plantaciones de banano del país.

- Establecer mayor diversidad de recursos vegetales en los campos de banano, que permitan aumentar la complejidad ecológica de estos agroecosistemas, como coberturas vegetales y vegetación en torno y estudiar a mayor profundidad la influencia de estos sobre la efectividad del control biológico ejercido por los parasitoides.
- Conocer a mayor detalle los depredadores presentes en el campo y la interacción de estos con las avispas parasitoides, permitiendo un mayor aprovechamiento de los enemigos naturales y la diversidad presente en los campos de banano del país.
- Estudiar con mayor profundidad el efecto de sistemas de manejo intensivo y el papel de cada uno de los tipos de plaguicidas usados en la producción del banano en el país sobre las poblaciones de avispas parasitoides, permitiendo establecer tiempos de aplicación y rotaciones adecuadas, generando el mínimo impacto sobre los enemigos naturales de la escama *D. boisduvalii*, en periodos clave de alta infestación de la plaga.
- Escalar a nivel comercial la cría de las avispas parasitoides *Plagiomerus* sp. *Coccobius* sp. y *Aphytis* sp. favoreciendo el uso de estos dentro de un sistema de manejo integrado de la escama *D. boisduvalii*.

9. Literatura citada.

- Abd-Rabou, S; Ahmed, N; Evans, G. A. 2014. *Encarsia Forester* (Hymenoptera: Aphelinidae) Effective Parasitoids of Armored Scale Insects (Hemiptera: Diaspididae) in Egypt. *Acta Zoologica Bulgarica* 6: 7-12.
- Abell, K. J; Van Driesche, R. G. 2012. Impact of latitude on synchrony of a scale (*Fiorinia externa*)(Hemiptera: Diaspididae) and its parasitoid (*Encarsia citrina*)(Hymenoptera: Aphelinidae) in the Eastern United States. *Biological Control* 63(3): 339-347.
- Alvarez, J. M; R. Van Driesche; J. Cornell. 1999. Effect of *Encarsia* sp. nr. *diaspidicola* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitism on *Cybocephalus* sp. nr. *Nipponicus* (Coleoptera: Cybocephalidae) egg laying choices. *Biological Control* 15: 57-63.
- Altieri, M.A; Nicholls, C.I. 1998. Biological control in agro-ecosystems through management of entomophagous insects. *In*. Dhaliwal, G.S; Heinrichs, E.A. (eds.) *Critical Issues in Insect Pest Management*. New Delhi, India, Commonwealth Publishers. p. 67–86.
- Amador, J; Alfaro, E; Hidalgo, H; Soley, F; Solano, F; Vargas, J; Sáenz, F; Calderón, B; Pérez, P, Vargas, J; Díaz, R; Goebel, A; Montero, A; Rodríguez, J; Salazar, A; Ureña, P; Mora, N; Rivera, I; Vega, C; Bojorge, C. 2013. Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera. Informe Final del Proyecto VI-805-B0-402. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Vicerrectoría de Investigación y Escuela de Física, Universidad de Costa Rica y Corporación Bananera Nacional (CORBANA). 225 pp.

- Antonelli, A. 2003. Scale Insects. Boletín Informativo. Washington State University. Cooperative Extension. Washington, United States. WSU PLS-63.
- Beardsley Jr, J. W; Gonzalez, R. H. 1975. The biology and ecology of armored scales. Annual Review of Entomology 20(1): 47-73.
- Benton, T. G; Vickery, J. A; Wilson, J. D. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. Trends in Ecology & Evolution 18(4): 182-188.
- Bianchi, F. J; Booij, C. J. H; Tscharntke, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 273(1595): 1715-1727.
- Biondi, A; Campolo, O; Desneux, N; Siscaro, G; Palmeri, V; Zappalà, L. 2015. Life stage-dependent susceptibility of *Aphytis melinus* DeBach (Hymenoptera: Aphelinidae) to two pesticides commonly used in citrus orchards. Chemosphere 128: 142-147.
- Birch, L.C. 1948. The intrinsic rate of natural increase in an insect population. J. Anim. Ecol. 17: 15-26
- Bográn, C. E; Heinz, K. M; Ciomperlik, M. A. 2002. Interspecific competition among insect parasitoids: field experiments with whiteflies as hosts in cotton. Ecology 83(3): 653-668.
- Brandfass, C; karlovsky, P. 2008. Upscaled CTAB-based DNA extraction and realtime PCR assays for *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* DNA in

plant material with reduced sampling error. International journal of molecular sciences 9(11):2306-2321.

Carey, J. R. 1993. Applied Demography for Biologists with special emphasis on insects. New York, US. Oxford University Press. p. 206.

Cloyd, R. 2012. Indirect effects of pesticides on natural enemies. *In* Soundararajan, R. P. (Ed.), Pesticides-Advances in Chemical and Botanical Pesticides. Rijeka, Croacia, Intech. p. 127-150.

Collier, T. R; Hunter, M. S. 2001. Lethal interference competition in the whitefly parasitoids *Eretmocerus eremicus* and *Encarsia sophia*. *Oecologia* 129(1): 147-154.

CORBANA (Corporación Bananera Nacional). 2016. Estadísticas bananeras (en línea). Consultado 21 ag. 2017. Disponible en <http://www.corbana.co.cr/categories/estadisticas-bananeras>

DeBach, P; Rosen, D. 1991. Biological Control by Natural Enemies. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press. 456 p.

de Pedro, L; Beitia, F; Ferrara, F; Asís, J. D; Sabater-Muñoz, B; Tormos, J. 2017. Effect of host density and location on the percentage parasitism, fertility and induced mortality of *Aganaspis daci* (Hymenoptera: Figitidae), a parasitoid of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Crop protection* 92: 160-167.

Dhaliwal, G.S; Arora, R. 2001. Integrated Pest Management: Concepts and Approaches. New Delhi, India, Kalyani Publishers. 427 p.

- Ding, D; Pan, W; Tang, Z; Xie, G; Lian, J. 1995. Biology of *Coccobius azumai* Tachikawa (Hymenoptera: Aphelinidae). Kun chong xue bao. Acta Entomologica Sinica. 38(1): 46-53. (En mandarín con resumen en inglés)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2017. Banana Statistical compendium 2015 - 2016. Roma, Italia. FAO Press. 24 p.
- Furuhashi, K; Nishino, M. 1983. Biological control of arrowhead scale, *Unaspis yanonensis*, by parasitic wasps introduced from the People's Republic of China. BioControl 28(3): 277-286.
- Guerrieri, E; J. S. Noyes. 2000. Revision of European species of genus *Metaphycus* Mercet (Hymenoptera: Chalcidoidea: Encyrtidae), parasitoids of scale insects. Systematic Entomology 25: 147-222.
- Guillén, C; Laprade, S. 2016. Manejo y combate de la escama del banano (*Diaspis boisduvalii*). Hoja divulgativa CORBANA. Limón, Costa Rica. N.º 9-2016.
- Guillén, C; Rodríguez, A; Laprade, S; Valle, H; Segura, R; Uva, V; Sandoval, J. 2010. Biología y control de las cochinillas y escamas que atacan al banano. Hoja divulgativa CORBANA. Limón, Costa Rica. N.º 5-2010.
- Hanson P.E. 1995. The Chalcidoid families: Aphelinidae. In Hanson, P.E; Gauld, I.D. (eds.), The Hymenoptera of Costa Rica. Oxford, Reino Unido, Oxford University Press. p. 282-289.
- Harris, L. R; Kelly, S. E; Hunter, M. S; Perlman, S. J. 2010. Population dynamics and rapid spread of *Cardinium*, a bacterial endosymbiont causing

cytoplasmic incompatibility in *Encarsia pergandiella* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Heredity* 104(3): 239.

Heimpel, G. E; Lundgren, J. G. 2000. Sex ratios of commercially reared biological control agents. *Biological Control* 19(1): 77-93.

Heraty, J. 2009. Parasitoid biodiversity and insect pest management. *In* Footitt, R. G; Adler, P. H. (eds.). *Insect biodiversity: science and society*. Nueva Jersey, Estados Unidos de America., Wiley-Blackwell. p. 445-462.

Hokkanen, H.M.T. 1993. New approaches in biological control. *In* Pimentel, D. (ed.), *CRC Handbook of Pest Management*. New Delhi, India, CBS Publishers and Distributors. p. 185–198.

Itioka, T; Inoue, T; Matsumoto, T; Ishida, N. 1997. Biological control by two exotic parasitoids: eight year population dynamics and life tables of the arrowhead scale. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 85(1): 65-74.

Japoshvili, G; Abell, K. J; Normark, B. B; Driesche, R. G. V. 2013. Aphelinid and encyrtid (Hymenoptera: Chalcidoidea) parasitoids of armored scales (Hemiptera: Diaspididae) attacking hemlocks (*Tsuga* spp.) in Japan and the United States, with description of eight new species. *Annals of the Entomological Society of America* 106(5): 541-554.

Japoshvili, G. O; Stathas, G. J; Kampouris, S. G. 2010. Natural enemies of *Diaspis echinocacti* in Greece and first records of *Aphytis debachi* and *Plagiomerus diaspidis*. *Phytoparasitica* 38(2): 121-123.

- Koul, O; Dhaliwal, G. S. 2003. Predators and parasitoids, an introduction. *In* Predators and Parasitoids. Londres, Reino Unido, Taylor & Francis. p. 1-15.
- Landis, D. A; Menalled, F. D; Costamagna, A. C; Wilkinson, T. K. 2005. Manipulating plant resources to enhance beneficial arthropods in agricultural landscapes. *Weed Science* 53(6): 902-908.
- Malekmohammadi, A; Shishehbor, P; Kocheili, F. 2012. Influence of constant temperatures on development, reproduction and life table parameters of *Encarsia inaron* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitizing *Neomaskellia andropogonis* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection* 34: 1-5.
- Marino, P. C; Landis, D. A; Hawkins, B. A. 2006. Conserving parasitoid assemblages of North American pest Lepidoptera: Does biological control by native parasitoids depend on landscape complexity?. *Biological Control* 37(2): 173-185.
- Matalon, Y; Katzir, N; Gottlieb, Y; Portnoy, V; Zchori-Fein, E. 2007. *Cardinium* in *Plagiomerus diaspidis* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 96(2): 106-108.
- Miller DR, Davidson JA. 2005. Armored Scale Insect Pests of Trees and Shrubs (Hemiptera: Diaspididae). Cornell University Press. Ithaca, NY. 456 pp.
- Montañez, M. N; Amarillo-Suárez, Á. 2014. Impact of organic crops on the diversity of insects: a review of recent research. *Revista Colombiana de Entomología* 40(2): 131-142.

- Morse, G. E; Normark, B. B. 2006. A molecular phylogenetic study of armoured scale insects (Hemiptera: Diaspididae). *Systematic Entomology* 31(2): 338-349.
- Myartseva, S. N; Coronado-Blanco, J. M; Ruíz-Cancino, E. 2012a. El género *Ablerus* Howard (Hymenoptera: Aphelinidae) en América del Norte, con la descripción de dos especies nuevas de México. *Acta zoológica Mexicana* 28(2): 447-456.
- Myartseva, S. N; Ruiz-Cancino, E; Coronado-Blanco, J. M. 2012b. Aphelinidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) de importancia agrícola en México. Revisión y claves. Serie Avispas Parasíticas de Plagas y otros Insectos No. 8. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México. 413 pp.
- Nieves, E. L. 2012. Evaluación del parasitoide, *Pseudapanteles dignus* (Hymenoptera, Braconidae) como agente de control biológico de la “polilla del tomate”, *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae). Tesis PhD. La Plata, Argentina, Universidad Nacional de la Plata. 117 p.
- Noyes, J. S. 1980. A review of the genera of Neotropical Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea). *Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology* 41: 107-253.
- Pang, S. T; Wang, L; Hou, Y. H; Shi, Z. H. 2011. Interspecific interference competition between *Encarsia formosa* and *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) in parasitizing *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on five tomato varieties. *Insect science* 18(1): 92-100.
- Panis, A; Pinet, C. 2016. A discussion of some ecological factors affecting *Coccidencyrtus malloi* Blanchard (Hymenoptera: Encyrtidae) as a

parasitoid of diaspidid scales under glass in France. *Entomologica* 33: 419-422.

Polaszek, A; Hanson, P.E. 2006. Mymarommatoidea y Chalcidoidea: Familia Aphelinidae. *In* Hanson, P. E; Gauld, I. D. (eds). Hymenoptera de la región Neotropical. Florida, Estados Unidos de América, The American Entomological Institute. p. 322-333.

Price, P. W. 1991. Evolutionary theory of host and parasitoid interactions. *Biological Control* 1(2): 83-93.

PROCOMER (Promotora del comercio exterior de Costa Rica). 2018. Estadísticas de comercio exterior Costa Rica 2017. San José, Costa Rica. PROCOMER. 249 p.

Rosen, D. y DeBach, P. 1979. Species of *Aphytis* of the world (Hymenoptera: Aphelinidae) Series *Entomologica* 17: 1-801

Sugiura, N. y Takagi, M. 1996. Interspecific competition between *Aphytis yanonensis* DeBach et Rosen and *Coccobius fulvus* (Compere et Annecke) (Hymenoptera: Aphelinidae) for a multiparasitized host, *Unaspis yanonensis* (Kuwana) (Homoptera: Diaspididae). *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* 40: 299–302 (En Japonés con resumen en Inglés).

Smith, D. 1978. Biological control of scale insects on citrus in southeastern Queensland. I Control of red scale *Aonidiella aurantii* (maskell). *Austral Entomology* 17(4): 367-371.

- Soto, M. 2014. Bananos: Conceptos Básicos. 1st ed. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de CR. 338 p.
- Takagi K; Ujiye T. 1986. Suppressive effects on the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Hemiptera: Diaspididae) of the introduced parasitoids, *Aphytis yanonensis* and *Coccobius fulvus* (Hymenoptera: Aphelinidae). Bulletin of the Fruit Tree Research Station D8: 53–64 (En Japonés con resumen en Inglés).
- Umbanhowar, J; Maron, J; Harrison, S. 2003. Density-dependent foraging behaviors in a parasitoid lead to density-dependent parasitism of its host. *Oecologia* 137(1): 123-130.
- Upton, M; Mantle, B. L; Hastings, A. 2010. Methods for Collecting, Preserving and Studying Insects and Other Terrestrial Arthropods, 5th edition. Australia, The Australian Entomological Society Miscellaneous Publication. 81 p.
- Van Driesche, R; Bellows, TS Jr. 1996. Biological control. Nueva York, Estados Unidos de América, Chapman and Hall. p. 259-295.
- Van Driesche, R; Hoddle, M; Center, T. 2008. Control of pests and weeds by natural enemies: an introduction to biological control. Victoria, Australia, Blackwell Publishing. 484 p.
- Walter, G. H. 1988. Competitive exclusion, coexistence and community structure. *Acta Biotheoretica* 37(3-4): 281-313.

- Wetherington, M. T; Jennings, D. E; Shrewsbury, P. M; Duan, J. J. 2017. Climate variation alters the synchrony of host–parasitoid interactions. *Ecology and evolution* 7(20): 8578-8587.
- White, J. A; Andow, D. A. 2005. Host–parasitoid interactions in a transgenic landscape: spatial proximity effects of host density. *Environmental Entomology* 34(6): 1493-1500.
- Wiese, C; Amalin, D; Coe, R; Mannion, C. 2005. Effects of the parasitic wasp *Coccobius fulvus* on cycad aulacaspis scale, *Aulacaspis yasumatsui*, at Montgomery Botanical Center, Miami, Florida. *Proc. Fla. State. Hort. Soc.* 118: 319-321.

10. Anexos

Anexo 1. Coordenadas geográficas de los sitios muestreados, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica.

Zona climática	Sitio de muestreo	Coordenadas geográficas
G7a	1	Latitud 10.536714 Longitud -83.861355
G7a	2	Latitud 10.414972 Longitud -83.654705
G7a	3	Latitud 10.352528 Longitud -83.733063
F3	4	Latitud 10.263728 Longitud -83.635771
F3	5	Latitud 10.137214 Longitud -83.459181
F3	6	Latitud 10.081777 Longitud -83.366488
E6	7	Latitud 9.622924 Longitud -82,837082

Anexo 2. Coordenadas geográficas estaciones meteorológicas Islas Sarapiquí, Pénjamo, Las Valquirias, Cartagena, Bananera Siquirres, 28 millas, Finca Chirripó, Limofrut, Agrotubérculos y País

Zona climática	Estación meteorológica	Coordenadas geográficas
G7a	Islas Sarapiquí	Latitud 10.558310 Longitud -83.967920
G7a	Pénjamo	Latitud 10.430780 Longitud -83.906150
G7a	Las Valquirias	Latitud 10.424610 Longitud -83.649720
F3	Cartagena	Latitud 10.263728 Longitud -83.635771
F3	Bananera Siquirres	Latitud 10.115460 Longitud -83.491210

F3	28 Millas	Latitud 10.100000 Longitud - 83.380000
F3	Limofrut B	Latitud 10.093530 Longitud - 83.280440
F3	Finca Chirripó	Latitud 10.021350 Longitud - 83.242180
F6	Agrotubérculos	Latitud 9.660000 Longitud -82.800000
E6	País	Latitud 9.520880 Longitud -82.626520

Anexo 3. Fechas de cada sitio muestreado y zona climática, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018, en plantaciones de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) de la vertiente caribe de Costa Rica.

Zona climática	Sitio	Muestreo	Fecha
G7a	1	Abril	5/abril/2018
G7a	2	Abril	16/abril/2018
G7a	3	Abril	16/abril/2018
F3	4	Abril	17/abril/2018
F3	5	Abril	17/abril/2018
F3	6	Abril	10/abril/2018
E6	7	Abril	18/abril/2018
G7a	1	Mayo	03/mayo/2018
G7a	2	Mayo	22/mayo/2018
G7a	3	Mayo	22/mayo/2018
F3	4	Mayo	15/mayo/2018
F3	5	Mayo	15/mayo/2018
F3	6	Mayo	7/mayo/2018
E6	7	Mayo	30/mayo/2018
G7a	1	Junio	4/junio/2018
G7a	2	Junio	19/junio/2018
G7a	3	Junio	19/junio/2018
F3	4	Junio	11/junio/2018
F3	5	Junio	11/junio/2018

F3	6	Junio	19/junio/2018
E6	7	Junio	27/junio/2018
G7a	1	Julio	3/julio/2018
G7a	2	Julio	18/julio/2018
G7a	3	Julio	18/julio/2018
F3	4	Julio	17/julio/2018
F3	5	Julio	17/julio/2018
F3	6	Julio	17/julio/2018
E6	7	Julio	23/julio/2018
G7a	1	Agosto	8/agosto/2018
G7a	2	Agosto	22/agosto/2018
G7a	3	Agosto	22/agosto/2018
F3	4	Agosto	13/agosto/2018
F3	5	Agosto	13/agosto/2018
F3	6	Agosto	13/agosto/2018
E6	7	Agosto	29/agosto/2018

Anexo 4. Temperatura y humedad mensual del cuarto de incubación de muestras, durante los meses de abril y hasta agosto del 2018.

Mes	Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa promedio (%)
abril	25.7	74.0
mayo	26.7	75.4
junio	26.4	79.6
julio	26.0	82.0
agosto	26.3	78.2

Anexo 5. Hembra de *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae) adulta (tercera exuvia ninfal presente) en banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish). Números indican las tres exuvias ninfales.



Anexo 6. Frutas de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) infestadas con *Diaspis boisduvalii* (Hemiptera: Diaspididae).

